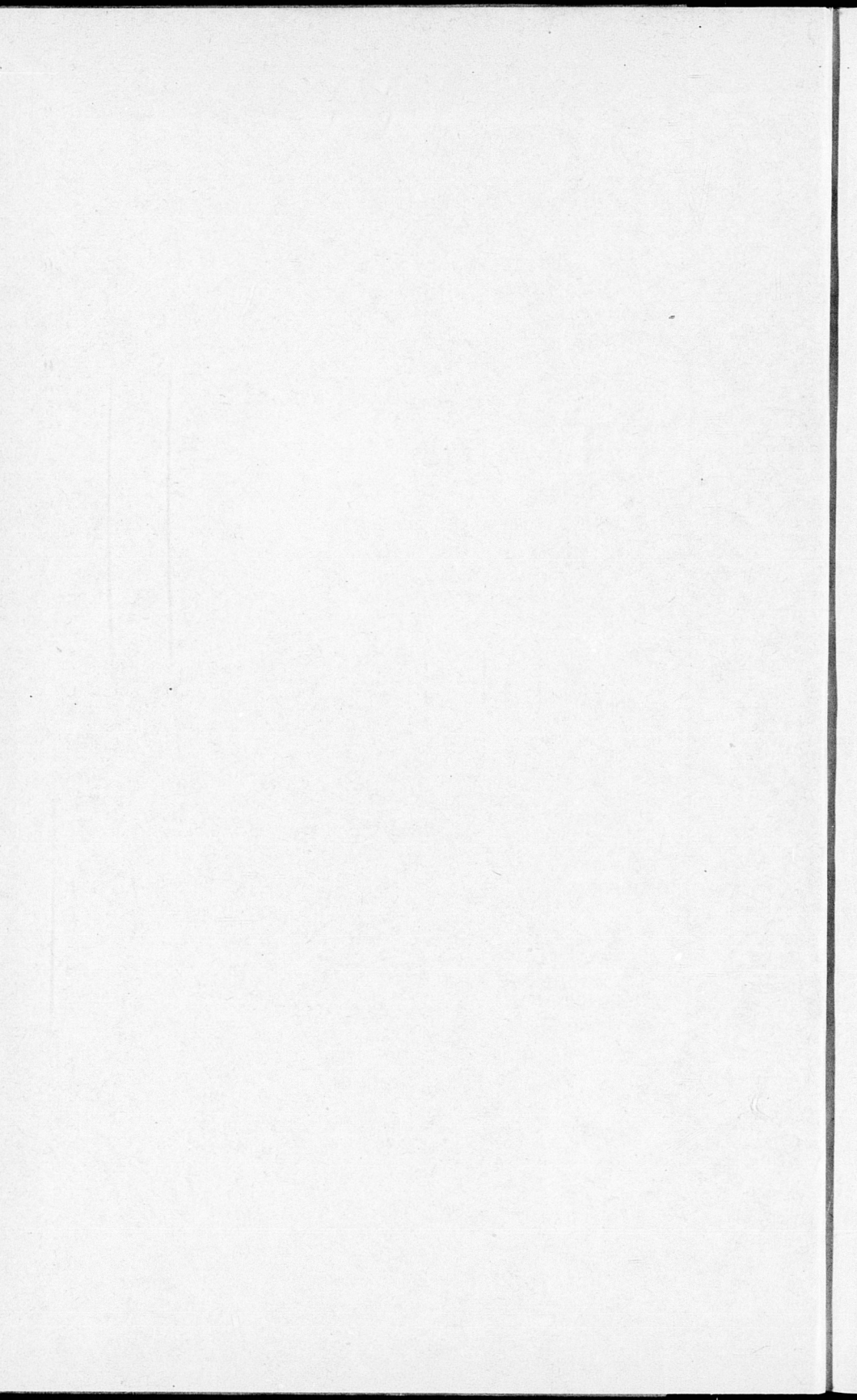
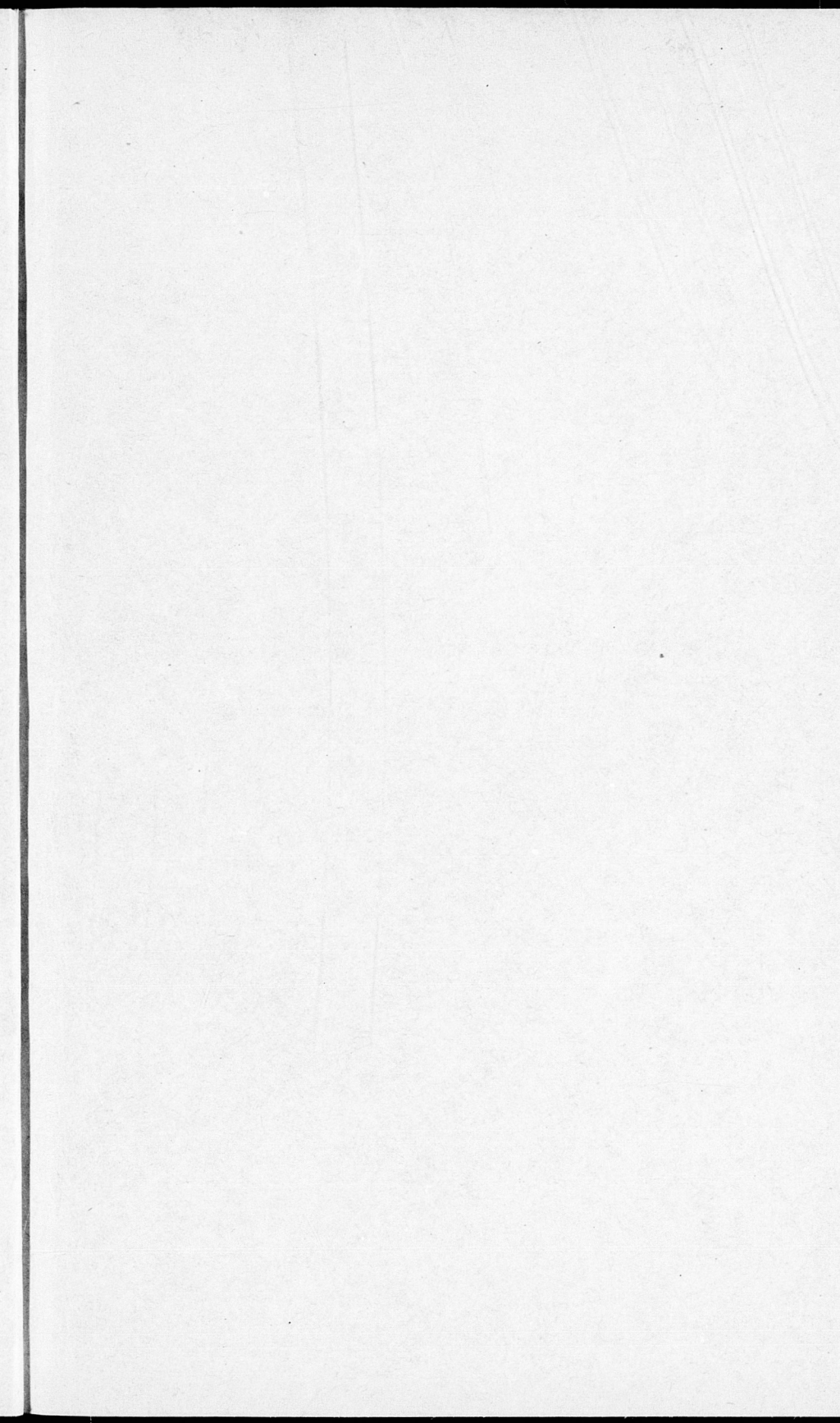
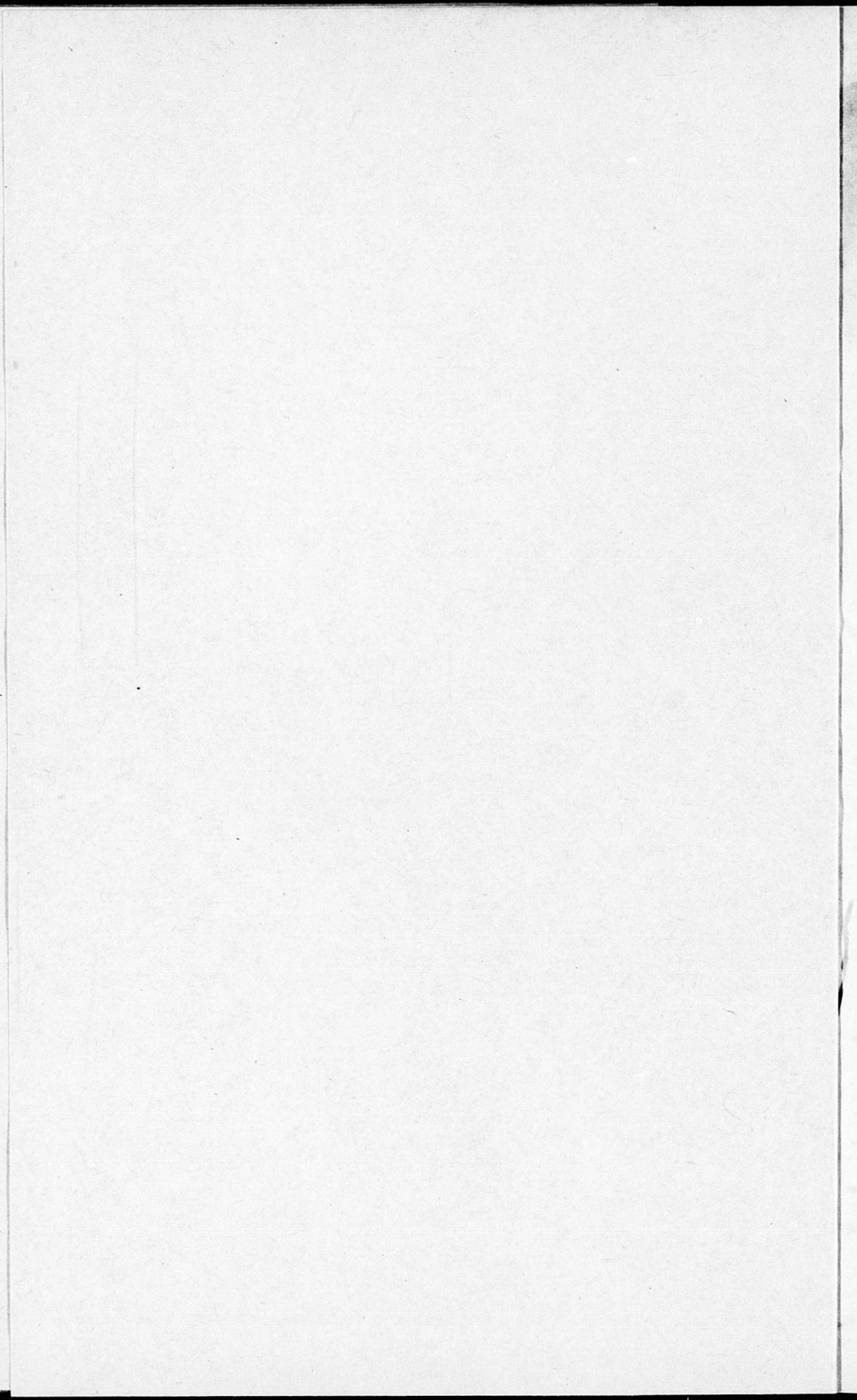


ju.
22
f







04° 564 2

34.89

PROEVE

EENER

GENETISCHE VERKLARING DER OOG-BEWEGINGEN,

DOOR

F. C. DONDERS.



RIJKSUNIVERSITEIT UTRECHT



0106 8232

PROEVE

BEWIJSDE VERKLARING DER OOG-BEWEGINGEN

E. O. DONDERS

Ozw 564 ²²

**PROEVE
EENER GENETISCHE VERKLARING
DER OOG-BEWEGINGEN,**

DOOR

F. C. DONDERS.

Het gezichtsveld met zijne locaal-teekens en de bewegingen van het oog hebben zich onder wederzijdschen invloed op elkander ontwikkeld en staan dus onderling in een zeer nauw verband. Om die bewegingen te verklaren, — om een inzicht te verkrijgen in haren oorsprong en in hare beteekenis, wordt eene nauwkeurige kennis gevorderd van dat verband. Voor ieder der typen van beweging zullen wij het trachten op te sporen. De eerste voorwaarde, om dit met goed gevolg te doen, is intusschen deze, dat wij ons een klare voorstelling maken van de bewegingen zelve. Ik stel mij daarom voor het onderzoek der bewegingen overal aan dat van haren oorsprong te doen voorafgaan; en kan daarbij het herhalen van bekende zaken niet worden vermeden, het zal, geloof ik, blijken, dat na de onderzoekingen, in den laatsten tijd door van Moll 1), Mulder 2) en Küster 3) verricht,

1) Onderzoekingen gedaan in het physiologisch laboratorium der Utrechtsche Hoogeschool, Derde Reeks. D. III. pag. 39.

2) Onderz. physiol. lab. Derde Reeks. D. III. pag. 118.

3) Archiv für Ophthalmologie. B. XXII. H. 1. S. 149.

en de nieuwe uitkomsten omtrent convergentie-bewegingen en symmetrische rolbeweging, door mij verkregen, een overzicht der oogbewegingen in het algemeen niet ongewenscht was.

Van het groote thema zal ik niet veel meer kunnen geven dan een schets. Velen zullen zich echter niet tevreden stellen met de resultaten, maar ook wenschen de verschijnselen zelve door eigen aanschouwing te leeren kennen. Ik heb mij daarom tot regel gesteld, door het aangeven van eenvoudige proeven overal den weg te wijzen, om de verschijnselen waar te nemen. Wie zich daartoe de moeite geeft zal zich dan verder gemakkelijk een denkbeeld vormen van de werktuigen en de methoden, die gediend hebben, om ze grondig te onderzoeken, en wier beschrijving ik daarom in korte woorden samenvat. De toegevoegde nummers hebben betrekking tot „de beschrijving der werktuigen van het physiologisch laboratorium en de ophthalmologische school van Utrecht”, die in de Onderzoekingen D. IV bl. 1 e. v. te vinden is, terwijl ik voor sommige op de uitvoerige verklaring in vroegere mededeelingen verwijzen kan.

Voorts schein het mij aangewezen, zooveel mogelijk den historischen weg te bewandelen, omdat daarbij alleen zich uit de feiten een aanschouwelijk beeld voor onze oogen ontwikkelt.

In zijne bewegingen vergelijkbaar met die van een gewrichtshoofd in zijn holte, draait het oog om een nagenoeg vast punt, slechts weinig achter het midden der sclera-ellipsoïde gelegen (Donders en Doyer). De lijn, uit het gefixeerde punt naar het draaipunt getrokken, is de bliklijn. Uitgaande van het hoofdblik-

punt, — horizontale bliklijnen bij rechtstandig hoofd recht naar voren gericht, — bedragen hare excursies ongeveer 42° naar buiten, 45° naar binnen, 34° naar boven, 57° naar beneden (Bloemert Schuurman).

In de bewegingen der oogen openbaart zich een wederzijdsche afhankelijkheid. Door een en dezelfde impulsie richten zij zich beide te gelijk naar boven en naar beneden, naar de rechter- en naar de linkerzijde. Het vlak, door de bliklijnen der beide oogen gelegd, is nu het *blikvlak*; de gezamenlijke punten, waarop zij zich richten kunnen, vormen het *blikveld*; de lijn, die de beide centra van beweging of draaipunten verbindt, heet de *grondlijn*.

Met het oog op de optische functie onderscheiden wij al aanstonds twee typen van beweging. De eene heeft betrekking tot *het zien op afstand*, met rechtstandig hoofd, evenwijdige bliklijnen, ontspanning der accommodatie. De andere is *het zien in de nabijheid*, met gebogen hoofd, benedenwaarts gericht blikvlak, convergeerende bliklijnen en inspanning der accommodatie: ook de convergentie, zelfs wanneer zij niet symmetrisch is, gehoorzaamt voor beide oogen aan eene en dezelfde impulsie. — Bij convergeerende zoowel als evenwijdige richting kunnen de bliklijnen bijna het geheele blikveld doorloopen, en ook in beide gevallen hebben het hoofd en subsidiair de tronk de neiging, zich in gelijken zin te bewegen en daarbij de uitgestrektheid der oogbewegingen te beperken.

Buiten de genoemde typen hebben wij *twee vormen van zelfstandige rolbeweging*, draaiing om de bliklijn, te onderscheiden: *de symmetrische*, waarin die draaiing voor beide oogen in tegengestelde richting plaats heeft, en *de parallele*, waarbij die draaiing op de beide oogen naar dezelfde zijde geschiedt. Bij ieder dezer draaiingen is de impulsie voor beide oogen weder gemeenschappelijk.

Deze vier vormen van beweging zullen wij afzonderlijk beschouwen.

I. EVENWIJDIGE BLIKLIJNEN.

Toen ik mijne studie over de oogbewegingen begon 1), was men gewoon van de spieren uit te gaan, om uit de onderstelde werking van deze de bewegingen te construeeren. Ik begreep, dat die weg de ware niet zijn kon, nademaal er geen grond bestond, om alle denkbare combinaties, aangenomen, dat men haar effect nauwkeurig kon voorzien, als werkelijk bestaande aan te nemen, en men dus altijd gevaar liep zich in ficties te verliezen. Eerst de bewegingen vaststellen, daarna vragen naar de bewegende krachten, was het leidend beginsel van mijn onderzoek. Zeer gelukkig kwam mij daarbij de methode te stade, waarvan wij het denkbeeld en de eerste toepassing aan Ruete verschuldigd zijn, — ik bedoel de methode der nabeelden. Het beginsel is eenvoudig: een lijnvormig nabeeld vertoont ons na volvoerde beweging de richting van den meridiaan, die vóór de beweging een lijnvormig beeld had ontvangen.

Welken weg de bliklijn doorloopt, volgt uit de bepaling der twee punten, die het oog achtereenvolgens fixeert. Vroeger onderstelde men, dat de secundaire stand van het oog, in betrekking tot den primairen, daarmee gegeven was. Dat was een dwaling. Wij moeten blijkbaar ook de betrekkelijke richting der meridianen vóór en ná de beweging kennen; wij moeten weten, of, en, zoo ja, in welken zin het oog daarbij om de bliklijn gedraaid is.

Dit nu leeren ons de nabeelden.

1) *Holländische Beiträge z. d. anat. und physiol. Wissenschaften.* B. 1. S. 1847.

Nabeelden ontwikkelen zich, wanneer men, na een punt ongeveer 20 sek. scherp gefixeerd te hebben, den blik liefst op een effen grijs vlak *onbewegelijk laat rusten*: hierop komt het aan. Na een paar secunden verschijnt dan het nabeeld.

Tegen een verticalen wand hangt men een sterk gekleurden band verticaal op, plaatse zich met rechtstandig hoofd, op den afstand van minstens eenige meters recht tegenover dien band, en vestige, terwijl het eene oog bedekt is, den blik van het andere horizontaal onbewegelijk op een en hetzelfde punt van den band. Zoo doende vormt zich een beeld in den verticalen of primairen netvliesmeridiaan, dat zijn nabeeld vertoont overal waar men vervolgens den blik op den wand laat rusten. Men late hem glijden langs een horizontale lijn: het nabeeld valt overal met de loodlijn samen; men richte hem recht naar boven of naar beneden: het nabeeld blijft verticaal in de verlenging van den band. In beide gevallen blijft de verticale meridiaan dus verticaal. Met den stand van het hoofd, waarbij aan die voorwaarden is voldaan, en met horizontaal, loodrecht op de grondlijn, naar het hoofdfixeerpunt gericht blik, is de primaire stand gegeven. — Ziet men links of rechts, en tevens naar boven of beneden, dan blijkt bij gestegen blikvlak het nabeeld op den wand naar dezelfde, bij gedaald blikvlak naar de tegengestelde zijde over te hellen. De verticale meridiaan blijft dan niet verticaal.

Door deze proeven was bewezen, dat, uitgaande van den primairen stand, hetzij zich recht naar boven of beneden, hetzij naar de rechter of de linker zijde bewegend, het oog *draait om een as, die loodrecht staat op het vlak, waarin de bliklijn in haren primairen en secundairen stand gelegen is.*

En om welke as draait het oog bij de bewegingen in schuinsche richting naar boven of beneden?

Listing sprak de onderstelling uit, dat daarvoor dezelfde formule zou gelden, dat ook daarbij het oog zou draaien om een as, die loodrecht staat op het vlak, waarin de bliklijn in haren primairen en secundairen stand gelegen is. Dit was wel de eenvoudigste oplossing van het problema. De beslissing omtrent de juistheid der oplossing liet echter nog lang op zich wachten. Evenmin als mijne onderzoekingen, waarbij de helling van nabebelden van verticale lijnen bepaald werd, hadden die van Meissner, van Wundt en van Fick een afdoend antwoord gegeven. Helmholtz zette het ei op zijn punt 1). Hij spande door het hoofdblikpunt banden in schuinsche richting, en overtuigde zich, dat, evenals de nabebelden van loodrechte en horizontale banden, die der schuinsche nu in hare eigene richting voortschrijden, wanneer de blik de richting van den band volgt. Bij gevolg behoudt de meridiaan, waarin het beeld van dien band ligt, bij die voortschrijdende beweging onveranderlijk zijn stand, bij gevolg liggen primaire en secundaire bliklijn in denzelfden meridiaan en draait het oog om een as, loodrecht op dien meridiaan, loodrecht op de primaire en secundaire richting der bliklijn. Aanschouwelijker bewijs is niet te leveren. Daarmee werd de onderstelling van Listing tot wet verklaard.

Men ziet gereedelijk in, dat, volgens die wet voor alle bewegingen, uitgaande van den primairen stand, de assen gelegen zijn in een en hetzelfde vlak, loodrecht op de bliklijn door het draaipunt gelegd en *hoofdassenvlak* genoemd. Het eenvoudig phaenophthalmotroop (N^o. 30, voorts: Onderzoekingen. 2 Ser. D. III. bl. 119) maakt dit aanschouwelijk. In een buitensten vasten ring is een tweede ring

1) Archiv f. Ophthalmologie. B. IX. H. 2. S. 163.

draaibaar, die het hoofdassenvlak voorstelt: men kan namelijk door deze draaiing aan een in den tweeden ring liggende as alle mogelijke richtingen geven, en zodoende den kunstmatigen oogbol uit den primairen in alle secundaire standen brengen. Vóór men den bol beweegt, stelt men de armen van een daarmede verbonden kruis verticaal en horizontaal: na de beweging wijzen deze armen nu de standen aan, die verticale en horizontale meridiaan hebben aangenomen. Vroeger was mij reeds gebleken, dat, langs welke wegen de bliklijn een zekere richting mocht hebben verkregen, de daaraan verbonden stand van het oog (bij evenwijdige bliklijnen) onveranderlijk dezelfde is. Dit resultaat heeft Helmholtz de wet van Donders genoemd.

Met een klein werktuig nu (N^o. 37) kan men de beide wetten controleeren. Het bestaat uit een gebogen houten staafje, aan het eene einde voorzien met een mondstuk, dat men tusschen de tanden klemt, aan het andere einde met een gekleurden strook, bewegelijk om een as, die door het draaipunt van het oog moet gaan: na fixatie langs de as den top van den strook fixeerende, ziet men het nabeeld in de verlenging van den strook, onverschillig, welke diens richting zijn moge (wet van Listing), en langs welke omwegen de bliklijn dien top moge hebben bereikt (wet van D.) 1).

De wet van D. stelt in staat, om uit de wet van Listing nu verder de bewegingen uit den eenen in den anderen secundairen stand af te leiden.

Hoe geschieden die bewegingen?

1) In hoeverre de wet van Listing geldig blijft bij stationnaire zijdelingsche overhelling van het hoofd, waaraan, zooals blijken zal, parallelle rolbeweging verbonden is, zal dit eenvoudige werktuig eveneens kunnen leeren.

In de eerste plaats volgt uit de wetten van Listing en D., dat al de assen, om welke het oog draait, om uit een gegeven secundairen in alle andere secundaire standen over te gaan, weder in een en hetzelfde vlak liggen: zooveel secundaire standen van het oog, zooveel assenvlakken. Die vlakken zijn gemakkelijk te vinden. Het vlak, dat den hoek halveert tusschen het hoofdassenvlak in den primairen stand en in den stand, waarin het door zekere beweging van het oog gebracht is, is het *secundaire assenvlak* voor den nu ingenomen stand van het oog 1).

Om nu verder ook de as te vinden voor de beweging uit een bepaalden secundairen stand b in een bepaalden secundairen stand b' heeft men slechts de secundaire assenvlakken B en B' afzonderlijk voor ieder dier beide standen te zoeken: de lijn, waarin deze vlakken elkander snijden, is de gezochte as. Immers uit b in b' overgaande, moet het oog draaien om een as in het assenvlak B ; uit b' in b overgaande om een as in het assenvlak B' ; — in beide gevallen natuurlijk om dezelfde as: bij gevolg om de lijn, waarin de vlakken B en B' elkander snijden.

Loodrecht op het secundaire assenvlak staat de zoogenoemde atropie (niet draaiende) lijn; maar de bliklijn staat er niet loodrecht op, en zij beschrijft dus in het kogelvormig gezichtsveld geen grooten, maar een kleinen cirkel, door Helmholtz *directie-cirkel* genoemd.

Van die directiecirkels maakt men zich gemakkelijk een voorstelling. Verplaats u midden op de zee, het hoofdblikpunt recht voor u aan den horizon, het occipitaalpunt diametraal daartegenover achter u, en zie, zonder het hoofd te bewegen, van de eene ster naar eene andere,

1) Het wiskundig bewijs zie: Helmholtz. *Physiologische Optik*. S. 492.

die gij indirect waarneemt. Telkens beschrijft de bliklijn daarbij een boog aan den hemel, en die boog is een stuk van een directiecirkel. Kon het oog zich om dezelfde as verder draaien, *de bliklijn zou door het occipitaalpunt gaan*: door deze eigenschap zijn alle directiecirkels bepaald, en zij blijken dus alleen groote cirkels te zijn, wanneer ze ook door het hoofdblikpunt gaan. En wilt ge een directiecirkel in de ruimte zien, beweeg den blik in verschillende richtingen door de heldere maan of door de zon heen: waar de blik nu rust verschijnt hij als nabeeld aan den hemel. Op die directiecirkels verschuift zich een lijnvormig nabeeld, overal daarmede samenvallende, evenals op de meridianen die door het hoofdblikpunt gaan.

Ik heb met Dr. Küster een werktuig geconstrueerd en Cyclocoop genoemd (No. 48; voorts: Onderzoekingen. Ser. 3. D. IV), dat de directie-cirkels en bovendien alle andere cirkels, die men in het blikveld te onderscheiden heeft, aanschouwelijk maakt. Het bestaat uit een boog, met op een tal van verschuifbare punten overspringende inductievonken, en uit een stoel met hoofdhouder, waardoor het hoofd in den primairen stand bevestigd is, en wel zoo, dat het draaipunt van het oog met het middelpunt van den cirkel samenvalt. Door draaiing om verschillende assen kan aan dien boog de richting worden gegeven van alle meridianen (die door de bliklijn gaan), van alle groote cirkels, door de dwarse as gelegd en van alle directiecirkels, — bovendien, door op en neerschuiiven in een standaard, die van parallel-cirkels. Terwijl het eene oog, onder bedekking van het andere, bij goed bevestigd hoofd, den primairen stand innemende, eene verwijderde lichtende plek (met phosphorus bestreken) in een overigens volkomen donker vertrek fixeert, kan men

de punten, waar snel elkander opvolgende inductie-vonken overspringen, zich als verwijderde sterren voorstellen en in het afgetrokkene oordeelen, van welke richting de cirkels, die zij vormen, den indruk geven, zoowel indirect uit het hoofdblikpunt gezien, als gefixeerd. Dr. Küster 1) heeft dezen toestel beschreven en zijne daarmede verkregen resultaten uitvoerig medegedeeld. Hier zij slechts vermeld, dat, terwijl, uit den primairen stand gezien, groote cirkels, naar het hoofdblikpunt concaaf, parallelcirkels naar het hoofdblikpunt convex schijnen, de directiecirkels zich als rechte lijnen in de ruimte voordoen, en dat zij ook bij het bewegen van den blik over den directie-cirkel hare richting onveranderd behouden. Voorts kan men een gekleurden band op den directie-boog bevestigen en de verschuiving van het nabeeld op den boog constateeren. De beteekenis dezer uitkomsten voor den oorsprong der gezichtsvoorstellingen in de ruimte zal later blijken 2).

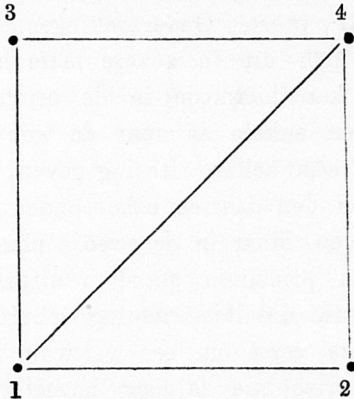
Wij hebben opgemerkt, dat bij de beweging uit den eenen secundairen stand in den anderen de bliklijn dan alleen loodrecht staat op de draaiingsas, wanneer ze door het hoofdblikpunt gaat. Bij gevolg gaat die beweging in alle andere gevallen met draaiing om de bliklijn gepaard. Deze draaiing om de bliklijn, door Helmholtz *Raddrehung* genoemd, moge men vooral niet verwarren met de *zelfstandige rolbeweging*, waarover wij onder III en IV zullen

1) Archiv für Ophthalmologie. B. XXII. H. 1. S. 149. 1876.

2) Zonder cyclocoop, projecties der directie-lijnen en sterren aan den hemel gebruikende, was Helmholtz (Physiologische Optik. S. 548 u. f.) reeds voor een groot deel tot de resultaten gekomen, die door Küster beschreven worden en die nu voor een ieder met den cyclocoop aanschouwelijk te maken zijn.

handelen. Zij is het eenvoudige uitvloeisel der wetten van Listing en D. Het oog kan, namelijk, uit den eenen secundairen stand in den anderen overgaande, niet zonder raddraaiing den stand aannemen, dien het, rechtstreeks uit den primairen stand daarin overgaande, zou hebben verkregen. Met het samengestelde phaenophthalmotroop (No. 31; voorts: Onderzoekingen. 2 Ser. D. III. bl. 119) laat zich dit in zekere mate aanschouwelijk maken. Men kan hiermede in de eerste plaats door draaiing om een enkele as naar de wet van Listing aan de bliklijn eene zekere richting geven, b. v. schuins naar boven, en den daartoe behoorenden stand van het kruis constateeren. Maar in de tweede plaats, kan men, weder van den primairen stand a uitgaande, aan de bliklijn op nieuw dezelfde richting schuins naar boven geven, door ze eerst om een verticale as rechts en dan om een horizontale as naar boven te draaijen, of omgekeerd, — in beide gevallen dus om een as, loodrecht op de bliklijn, d. i. zonder draaiing om de bliklijn. Maar nu blijkt in dit tweede geval het kruis, dat den stand der meridianen aanwijst, anders gericht te zijn dan in het eerste: om gelijke richting te verkrijgen, zou een draaiing om de bliklijn noodig zijn. En, in strijd hiermede, heeft het levende oog, zich eerst rechts en dan naar boven (of omgekeerd) bewegende, in allen deele denzelfden stand, alsof het onmiddellijk, door draaiing om ééne as, rechts naar boven gericht ware. De bewegingen van het oog verschillen dus van die van het phaenophthalmotroop. Het verschil zit niet in de beweging uit den primairen stand a in den secundairen stand b , maar in die uit den secundairen b in den secundairen b' , — en deze geschiedt dus in werkelijkheid om een as, die een composante heeft op de bliklijn. Deze composante geeft de

raddraaiing van Helmholtz. Zij openbaart zich in een richtingsverandering der voorwerpen. Vier punten, 1, 2, 3, 4, op een verwijderden wand, stellen de vier hoeken van een kwadraat voor. De twee onderste 1, 2 liggen in het horizontale blikvlak; 1 zij het hoofdblikpunt. Men bewege nu monoculair den blik uit 1 naar 2, naar 3, of



langs de diagonaal naar 4: alle raddraaiing blijft uit en de lijnen, die de punten verbinden, behouden hare richting. Maar den blik bewegende van 2 naar 4 of van 3 naar 4 (of omgekeerd), ziet men de richting der lijnen (ook die der nabeelden van in die richtingen uitgespannen banden) veranderen: dat is het effect der vergezellende raddraaiing van Helmholtz.

Wij kennen nu de wetten van Listing en D. met al hare conquenties. Kunnen wij nu ook van haren oorsprong rekenschap geven?

Helmholtz beproefde dit van het empiristische standpunt. Wat de wet van D. betreft, hij zoekt ze te verklaren uit het „Princip der leichtesten Orientirung für die Ruhestellung des Auges.“ Keert na beweging de blik tot een gefixeerd voorwerp terug, dan erkent men het

als in rust gebleven, wanneer zijn beeld weer dezelfde punten van het netvlies reft.

Maar ook zonder het voorwerp op nieuw te fixeeren zegt Helmholtz, willen wij onderscheiden, of het bij en na de beweging in rust bleef. Dit zal, zoo merkt hij op, het gemakkelijkst zijn, wanneer, onafhankelijk van den stand van het oog, de verschuiving van alle punten van een beeld, bij het richten van den blik van het eene op het andere, steeds dezelfde is. Die voorwaarde is intusschen niet te verwezenlijken. Zij onderstelt niets minder dan dat bij den overgang van den eenen secundairen stand in den anderen ook alle raddraaiing zou uitblijven. Het hoogst bereikbare is, dat die raddraaiing zoo gering mogelijk zij, — „dass die Summe der Fehlerquadrate für alle „vorkommende unendlich kleinen Bewegungen des Auges „ein Minimum wäre.” En dit is, zooals de analytische behandeling leert, door een kringvormig blikveld (met hoofdblikpunt in het centrum), waarin het oog met evenwijdige bliklijnen zich ongeveer pleegt te bewegen, door de wet van Listing nagenoeg verwezenlijkt. Hierin zoekt dan Helmholtz den grond, waarom de bewegingen zich naar die wet wisten te voegen.

Dat Helmholtz bij zijne verklaring uitsluitend individueele empirie te baat neemt, is voor mij geen bezwaar. Breng ik die der voorgeslachten evenzeer in rekening, deze had plaats onder dezelfde voorwaarden als de individueele, en de verklaring kon dus dezelfde blijven. Trouwens ook Helmholtz is niet zoo exclusief. Alvast ten aanzien der beweging erkent hij „dass wenn der Augenmus- „kelapparat vieler Generationen hinter einander sich den „Bedürfnissen der Individuen angepasst hat und sich „seine Anordnung auf die Nachkommen vererbt, für die „factische Herbeiführung der zweckmässigsten Raddrehun-

„gen des Auges, der Umstand, dass sie die leichtesten „sind, ausserordentlich günstig einwirken muss“ (p. 486.). Elders geeft hij toe (p. 799), dat voor zekere innervaties door het erfelijk moment de weg kan gebaad zijn. En zou hij willen ontkennen, dat in het netvlies met zijne foveae centrales en scherp bepaalde zenuwverspreiding zoo niet de locaalteekens vertegenwoordigd, toch de voorwaarden voor hun ontstaan in een bepaalden zin reeds bij de geboorte zijn weggelegd? Helmholtz wilde slechts eene proeve leveren, dat onze voorstellingen zich uit individueele ervaring laten verklaren, zonder met het gelukken dier proeve de empiristische theorie bewezen te achten. Inderdaad reiken empiristen en nativisten elkander de hand. Voor de laatste, in den door mij bedoelden zin, is ervaring evenzeer de grondslag van iedere voorstelling als voor de eerste: zij verschillen slechts in het aandeel, dat zij aan die van het phylon en aan die van het individu toekennen. En waar is de maatstaf, om dat aandeel te bepalen? Wat niet manifest is bij de geboorte, kan virtueel, in zijn voorwaarden, gegeven zijn, en na de geboorte, bij de verdere ontwikkeling, smelten die voorwaarden en de invloed der individueele ervaring tot een ondeelbaar geheel samen. Alléén dus kan men vragen, wat manifest is bij de geboorte; en wanneer de mensch, meer dan de meeste dieren, meer dan de vogels bijv., zich door individueele empirie moet eigen maken, de ervaring der voorgeslachten openbaart zich toch ook bij hem op de stelligste wijze. Met Engelmänn zag ik binoculaire fixatie, met verandering van convergentie, bij een mannelijk kind nauwelijks een uur na de geboorte (zeker een uitzondering, maar toch goed geconstateerd), en bij eene absoluut blind geborene vond ik parallelle oogbewegingen in alle richtingen. Dat men bij honden

door prikkeling van bepaalde punten der corpora quadrigemina, zooals Adamük in mijn laboratorium aantoonde, de gewone *gemeenschappelijke* bewegingen der beide oogen verkrijgen kan, schijnt ook een veelbetekenend feit. Maar ik herhaal, aan de individueel empiristische voorstelling, door Helmholtz gegeven, ontleen ik geenerlei bedenking tegen zijne verklaring.

Ik heb twee andere bezwaren.

Mijn eerste bezwaar is dáárin gelegen, dat raddraaiing, in het algemeen, aan het oriënteeren zoo weinig afbreuk doet. A priori meende Helmholtz zelf, dat haar invloed wel door zekere compensatie zou kunnen zijn weggevallen. Het bleek intusschen, dat ze zichtbaar blijft. Maar hoe? Inderdaad slechts door een zekere abstractie. Onbewust verbinden wij de factoren onzer voorstelling, en dan bemerken wij van de raddraaiing niets. Eerst wanneer we ons de verschuiving trachten voor te stellen, los gemaakt van de beweging, onder welker invloed ze tot stand kwam, zien wij in de peripherie van het blikveld de niet in meridianen gelegen lijnen, die wij met den blik volgen, van richting veranderen. Op gelijke wijze laat zich bij willekeurige beweging van de oogen en vooral van het hoofd de verschuiving over het netvlies als beweging der voorwerpen denken. Wat meer is: uit den primairen stand den blik op een zeer peripherisch gezien voorwerp richtende, kan men de voorstelling, dat dat voorwerp tot het hoofdblikpunt nadert, niet eens onderdrukken. En, merk op, terwijl we een verticale lijn, zijdelings in het blikveld continueel van richting zien veranderen (verg. bl. 12), houden wij ze toch overal, waar wij den blik er op laten rusten, voor verticaal: onbewust brengen wij het effect van den stand van het oog in rekening. — Bovendien kan men niet wel aannemen, dat, wanneer na beweging de

blik naar een te voren gefixeerd voorwerp terugkeert, het beeld van het onbewogen voorwerp weer dezelfde punten van het netvlies treffen zal. Immers iedere beweging van het oog verbindt zich met beweging van het hoofd, en de stand van het hoofd keert na iedere beweging niet met nauwkeurigheid terug. En brengt men hier willekeurig een verschil voort, door bij het terugkeeren van den blik het te voren bewogen hoofd stil te houden, dan weten wij toch even goed, of het voorwerp in rust gebleven is. Merkwaardig is het, hoe wij alle constante factoren onbewust compenseerend in rekening brengen. Wil men een sprekend bewijs: men fixeere binoculair een in de nabijheid opgehangen staafje en neige nu het hoofd langzaam afwisselend naar den eenen en naar den anderen schouder. Hierbij bestaan vooreerst de gezegde bewegingen van het hoofd en eene haar vergezellende draaiing om de gezichtsas; ten anderen bewegen zich de bliklijnen door een zeer samengesteld spiermechanisme afwisselend naar beneden en naar boven en tevens links en rechts; aan de andere zijde, verschuiven de beelden op het netvlies als gevolg dezer drie soorten van beweging, en verandert niet alleen de helling, maar ook de grootte der halfbeelden, wijl afwisselend het eene en andere oog verder van het staafje verwijderd is. En desnietteenstaande erkennen wij het staafje als onveranderd in vorm en richting en als aan zijn plaats gebonden.

Uit dit alles kom ik tot het besluit, dat de Raddrehung ook indien ze anders, mits constant, ware, het oriënteeren niet zou bemoeilijken. Men kan zich zelfs zeer goed denken, dat schijnbewegingen, die van raddraaiing afhankelijk zijn, onbewust aan het oriënteeren worden dienstbaar gemaakt.

Een tweede bezwaar meen ik dáárin te vinden, dat ik mij voor het door Helmholtz onderstelde doel den genetischen grond niet werkzaam denken kan. Dat is intusschen het postulaat: wij moeten het doel kunnen verplaatsen in het meer of min bewuste streven van het individu, om recht te hebben, de verwerkelijking door de wet van oefening te verklaren, en zouden er het bewijs voor dergelijk streven nog gaarne feitelijk bij zien aangetoond. Eenige moeilijkheid reeds levert mij de eerste wet. Hoe zal het oog genoopt worden, bij het terugkeeren van den blik denzelfden stand in te nemen? Wordt hij ingenomen, dan *zal*, zooals Helmholtz zegt, het voorwerp worden herkend als in rust te zijn gebleven. Maar *waarom* zal hij worden ingenomen? Dit wordt niet verklaard.

Minder bevredigend nog, uit het genetische oogpunt, is de verklaring der wet van Listing. Is de rad-draaiing werkelijk storend, dan zal bij iedere beweging zich het streven openbaren, om ze of geheel buiten te sluiten of althans te compenseeren. Maar om een typus te scheppen, die de gelukkigste verdeling der storingen in zich sluit en op iedere baan zich doet gehoorzamen, ik kan niet inzien, hoe eenig streven daartoe leiden zou. En ontbreekt het causale inzicht, is dan de verklaring wel vrij te pleiten van die verwerpelijke teleogie, die niet verder gaat dan te raden naar een doel?

Zuiver teleologisch is het standpunt, waarop Hering 1) zich in betrekking tot het vraagstuk plaatst. Ieder gevolg, dat hij wenschelijk acht voor de functie van het zien, verheft hij tot principe, en hij beschouwt het als interessant te overwegen, op welke wijze die principes

1) Beiträge zur Physiologie. S. 259. Leipzig. 1861.

zich zoo vereenigd laten denken, dat de noodzakelijke collisies onder elkander zoo gering mogelijk worden. In 't bijzonder behandelt hij drie principes, „*das Princip der einfachsten Innervation, des grössten Horopters, der vermiedenen Scheinbewegung*,” maar denkt nog aan vele andere.

Van het *Princip der einfachsten Innervation* geldt wel hetzelfde als van Fick's *Princip der kleinsten Muskelarbeit*, van noodzakelijk te zijn bij *ieder* levend mechanisme; dat *des grössten Horopters* heeft alleen betrekking tot het binoculaire zien en vordert, tot het zien op afstand beperkt, geen bepaalden vorm, maar slechts gelijkheid van beweging; dat *der vermiedenen Scheinbewegung* verschilt van dat van Helmholtz slechts in zooverre, als het de gunstigste verdeeling der storende raddraaing in het blikveld buiten rekening laat: Hering stelt zich te vreden, met te constateeren „dass das Princip der vermiedenen „Scheinbewegung durch das Listing'sche Gesetz leidlich „gut erfüllt is, so weit das practische Bedürfniss reicht.” Nergens blijk van eenig streven naar een genetische verklaring!

Bij eene genetische verklaring zou het ideaal zijn, de bewegingen, in verband met de ontwikkeling van het gezichtsorgaan, door de verschillende ontwikkelingsphases van het phylon te volgen. Dat ligt echter nog geheel buiten ons bereik. Wij kunnen slechts trachten, ons een algemeene voorstelling te vormen van den oorsprong der bewegingen, onafhankelijk van alle phase en toepasselijk zoowel op vroegere vormen als op een kind van onze dagen, ondersteld zelfs, dat het uitsluitend door persoonlijke praxis het verband tusschen de optische functie en de oogbewegingen moest ontwikkelen. Dergelijke algemeene voorstelling is mogelijk, omdat wij bij onze beschouwing geheel mogen abstraheeren van den

vorm der bewegingsorganen, om enkel te letten op de bewegingen; want de bewegingen brachten de bewegingsorganen tot ontwikkeling, naar de wetten van oefening en erfelijkheid, en de vorm dier organen is dus secundair. Hoe vicieus het is, uit de organen de bewegingswetten te willen verklaren, treedt hiermede eerst recht aan het licht.

Voor het ontstaan der zoogenoemde „*Sehssubstanz*” zoeken wij den grond in de photo-chemische werking der lichtgolven op de zich organiserende levende stof. Uit de bewegingen — aanvankelijk schier toevallige — van het gezichtsorgaan, reeds in zijn eenvoudigsten vorm, leiden wij de locaalteekens af, die der „*Sehssubstanz*” inhaerent zijn. Eenmaal ontwikkeld, konden deze wederkeerig hunnen invloed op de bewegingen doen gelden. Thans nog zien wij, zooals later blijken zal, de bewegingen, inzonderheid de binoculaire, door de locaalteekens beheerscht, die veel meer vastheid toonen dan de altijd zeer plastische spierwerking. Wij mogen aannemen, dat een bepaald gedeelte, waarschijnlijk het centrale, onder voorwaarden verkeerde, om gevoeliger te worden dan het overige. Denken wij ons nu, dat, bij den gewonen evenwichtsstand, in het peripherisch gedeelte een bijzondere indruk ontstond: de neiging, het centrale naar het corresponderend deel van 't gezichtsveld te keeren, — ook thans nog aan het gezichtsorgaan eigen, — kon daarbij niet uitblijven. Ongetwijfeld geschiedde dit dan in deze dan in gene richting, en telkens keerde het orgaan daaruit in zijnen primitieven stand, den toestand van betrekkelijke rust, terug. Aanvankelijk miste die beweging alle zekerheid. Het doel werd niet direct, maar zoekende langs omwegen bereikt. Ook de draaiing om de bliklijn, zoodra van deze sprake was, zal niet ontbroken hebben. Maar geen

omweg en geenerlei richting van draaiing had de overhand, en de gemiddelde, waartoe oefening leiden moest, was dus de kortste weg, met uitsluiting van draaiing om de bliklijn. Men ziet gereedelijk in, hoe met de regelmatigheid der beweging de scherpte der locaalteekens moest toenemen en deze wederkeerig aan de regelmatigheid der beweging kon bevorderlijk zijn. Zoo was de weg uit den primairen stand a naar een secundairen stand b gevonden. De eerste grondslag was gelegd voor de wet van Listing: bij beweging uit den primairen stand a naar b , en vice versa, draaiing der bliklijn om een bepaalde as, zonder draaiing om zich zelve. En om die wet nu verder met al hare consequenties te verwezenlijken, was niets verder noodig als de wet van D.: hoe heeft men zich haar ontstaan te denken?

Wij stelden ons voor, dat het oog uit den primairen stand a in een secundairen b overging, om daaruit telkens tot a , als den stand van betrekkelijke rust, terug te keeren. De neiging daartoe vinden wij nog duidelijk aanwezig. Dat moge nu ontelbare malen zijn voorgekomen. Soms moest echter de omstandigheid zich voordoen, dat, terwijl de blik op β gevestigd was, de indruk van een ander peripherisch punt β' de aandacht tot zich trok. Dit punt kon worden bereikt door van b in a terug te keeren en nu uit a het oog op β' te richten. Aanvankelijk zal dit aldus geschied zijn. Werd nu β' uit a gezien en in zijn ligging herkend, dan moest dit tot vergelijking leiden met den uit b verkregen indruk van β' . Het streven, om direct van b naar β' te komen, kon nu niet langer uitblijven. Vele wegen stonden daartoe open: zal nu ook, evenals van a naar b , de directe gevonden worden? Dat zou zijn draaiing om een as, loodrecht op het vlak, waarin de op β en op β' gerichte bliklijnen

gelegen zijn, — een draaiing, alsof de richting b de primaire stand ware. Die weg kon niet gevonden worden. De innervatie, die voor een bepaalde richting beslissend is, moest zich doen gelden. Uit ervaring was de innervatie bekend, waarbij het oog uit a in b' gebracht wordt. Om uit b naar b' te komen, wordt *absoluut* dezelfde innervatie gevorderd. En wordt daaraan volkomen voldaan, dan heeft het oog daarbij in allen deele den stand ingenomen, alsof het van α op β' was gericht geworden: hiermede ware de wet van D. verwezenlijkt. En daarin lag dan tevens opgesloten, dat bij het overgaan van b in b' het oog gedraaid zou zijn om een as, die de bliklijn een directie-cirkel deed doorloopen: de consequenties der wet van Listing waren vervuld.

Maar gesteld, dat β' uit β zoekende gevonden was, zonder onmiddellijk door het bewustzijn der gevorderde innervatie bepaald te zijn, en dat nu ook de stand niet nauwkeurig aan de wet van D. beantwoordde, dan zou toch de gevorderde innervatie zich hebben doen gelden, op het oogenblik, dat men zich voorstelde, den terugkeer uit b' naar a te ondernemen, wat immers in den regel volgen moest. Het is alsof men met telkens opgeheven hamer een spijker trof, maar nu aanleiding vond, den arm schuins naar boven te voeren, om eerst van daar de gewone plaats van uitgang te bereiken: wat er nu aan den stand ontbreken mocht, zal gecorrigeerd worden bij de voorstelling, om den slag toe te brengen, en na veelvuldige herhaling van den tweeledigen weg zal de correcte stand wel onmiddellijk worden ingenomen. Zoo ook met het oog, uit b in b' overgaande.

Hiermede meen ik van den oorsprong der wet van Listing voldoende te hebben rekenschap gegeven, en daarmede te gelijk van al hare consequenties, die men

mocht geneigd zijn tot genetische of teleologische factoren te verheffen.

Met den eersten grondslag voor de wet van Listing, de beweging uit a naar b , zonder raddraaiing, was de voorstelling verkregen van de rechte lijn, als den kortsten afstand tusschen twee punten. Met de beweging van b naar b' , in overeenstemming met dezelfde wet, waarbij de bliklijn een directie-cirkel beschrijft, werd de voorstelling van de rechte lijn ook aan de directie-cirkels verbonden. De beweging geschiedt door draaiing om een vaste as, zoodat de directie-cirkel, evenals de rechte lijn, over zich zelf verschuifbaar is, daarbij onder den invloed eener constante innervatie, — en wel absoluut dezelfde als die, waarbij de bliklijn, uit a in b' overgaande, een rechte lijn beschrijft: meer is er zeker niet toe noodig. Wij begrijpen nu tevens, dat, zooals het cyclocoop ons leerde, de beweging van den blik langs de directie-lijn de voorstelling van een rechte lijn in het gezichtsveld nog moet bevorderen. Van een gestrekte lijn geldt juist het tegendeel. Gefixeerd in de peripherie van het blikveld, schijnt zij recht, en den blik er langs bewegende (wij onderstellen, dat ze niet in een meridiaan ligt), waarbij van punt tot punt de draaiingsas verandert en de lijn op het netvlies dus niet in zich zelve verschuiven kan, zien wij ze gebogen. Ook uit het hoofdblikpunt nemen wij een gestrekte lijn in de peripherie van het gezichtsveld, buiten de richting der meridianen, bij voldoende abstractie als gebogen en een directiecirkel als rechte lijn waar.

Deze voorstellingen hebben zich in verband met de wet van Listing ontwikkeld.

In het bovenstaande heb ik de wet van Listing aanschouwelijk voorgesteld en getracht haren oorsprong te verklaren.

Geldt die wet nu in strengen zin? Men mag het niet onderstellen. Wij construeeren werktuigen naar een mathematisch beginsel en afwijkingen van dat beginsel zijn hier onvolkomenheden, die wij trachten te vermijden. Maar levende werktuigen, die niet geconstrueerd, maar onder voortdurende accommodatie geworden zijn, spotten met mathematische beginselen en vinden juist hunne volkomenheid in schijnbare afwijkingen, die om haar verband met de genetische factoren onze bijzondere aandacht verdienen.

Voor de bewegingen bij convergentie, gezwegen van de beide vormen van rolbeweging, kan, zooals nader blijken zal, van de wet van Listing zelfs geen sprake zijn. Maar ook de bewegingen met parallelle bliklijnen gehoorzamen haar niet volkomen. Is de afwijking hier gering, zij is zeer cardinaal; want zij treft het wezen der wet: de wet sluit alle draaiing uit om de bliklijn, bij beweging uit of door den primairen stand, en het feit is, dat eenvoudige stijging en daling van het blikvlak met draaiing om de bliklijn gepaard gaat. Dit feit is niets minder dan een negatie van de wet. Kon bij het aanwenden van de methode der nabeelden die rolbeweging verborgen blijven, zij openbaart zich onmiddellijk bij die der halfbeelden, die scherper en — even afdoende is, wanneer men niet den absoluten, maar alleen den betrekkelijken stand van de corresponderende meridianen der beide oogen te bepalen heeft.

Men fixeere een verwijderde horizontale lijn, de roede b. v. van een venster, tegen den hemel gezien, met beide oogen en brenge voor het eene oog, een zwak prisma met den hoek naar boven: de roede vertoont zich nu in twee halfbeelden, het eene boven het andere, die zoo goed als evenwijdig zijn; maar zij verliezen het paralle-

lisme, als men het hoofd sterk voor- of achterover buigt en het blikvlak dus doet stijgen of dalen. Bij het stijgen rijzen de halfbeelden voor rechter en linker oog aan de corresponderende zijden, omgekeerd bij daling. Die verandering in richting is het gevolg van symmetrische rolbeweging bij het stijgen van het blikvlak, in dien zin, dat de horizonten aan de buitenzijde dalen: deze rolbeweging noemen wij *positief*; de omgekeerde, aan het dalen van het blikvlak verbonden, *negatief*.

Om die rolbewegingen nauwkeurig te leeren kennen, bedienen wij ons van het Isoscoop (N^o. 46; voorts: Onderzoekingen. 3^{de} Ser. D. III). Dit werktuig dient in de eerste plaats om de hoeken H en V der schijnbaar verticale en horizontale meridianen te meten. De netvliesbeelden eener horizontale lijn liggen in de *werkelijk* horizontale meridianen. Projiciëeren zij zich niet in dezelfde horizontale richting, dan liggen de netvliesbeelden, die zich wel aldus projiciëeren, in andere meridianen, en deze zijn dan de *schijnbaar* horizontale. De hoek, dien ze vormen, wordt gevonden met den hoek van lijnen, die wij met de respectieve oogen voor gelijk gericht en horizontaal aanzien. Die hoek is in den regel positief: de schijnbare meridianen liggen aan de temporaal-zijde iets lager dan de werkelijke.

Grooter dan H is de hoek der schijnbaar verticale meridianen V. Om hem te zien, heeft men geen prisma noodig. Men fixeere den hemel in de richting eener smalle verticale roede, en deze vertoont zich nu in twee halfbeelden, die naar boven divergeeren. Die halfbeelden zijn gekruist; want sluit men het rechter oog, dan verdwijnt het linker halfbeeld, en omgekeerd (onvolgende convergentie). Dus helt het halfbeeld van het rechter oog links, dat van het linker oog rechts over

de schijnbaar verticale meridianen daarentegen naar de gelijknamige zijde: de hoek V is constant positief. Daar hij altijd grooter is dan H , zoo kunnen ze door rolbeweging nooit beide te gelijk verdwijnen; dus kunnen nooit alle gelijk gerichte meridianen der beide oogen corresponderende punten hebben: hierin bestaat de door Helmholtz ontdekte incongruentie der netvliezen.

Het Isoscoop nu, waarmede wij V en H meten, is samengesteld uit: *a.* Twee vierkante ramen, die, draaiende om de middelpunten hunner verticale lijsten, den ruitvorm kunnen aannemen. In die ramen zijn twee (of meer) draden uitgespannen, evenwijdig aan die lijsten en bij alle draaiing daaraan evenwijdig blijvende. Op een graadverdeeling met nonius wordt de stand afgelezen. Staan de draden wat verder van elkander dan de oogen, zoo vertoonen ze, bij evenwijdige gezichtslijnen, twee halfbeelden dicht bij elkander, en die heeft men door draaiing der ramen slechts op het oog verticaal en evenwijdig te stellen, om den hoek V af te lezen. *b.* Twee soortgelijke ramen, draaibaar om de middelpunten hunner horizontale lijsten, dienen voor de bepaling van H .

Met het raamtoestel is een hoofdhouder verbonden met mondstuk, zoo gesteld, dat men, met de tanden daarin sluitende, zich in den primairen stand bevindt, terwijl tevens de grondlijn samenvalt met een as, om welke het raamtoestel aan twee armen draaibaar is (beginsel van Hering). Het raam nu volgende met stijgend en dalend blikvlak, kan men den invloed der veranderde richting op V en H bepalen.

Zoодоende nu is gebleken, dat op het doorgaans gebruikte blikveld de rolling nauwelijks merkbaar is, om eerst op de grenzen van het blikveld betrekkelijk sterk te stijgen. Desniettemin moeten wij vragen naar haren

oorsprong; want juist kleine afwijkingen onthullen dikwijls de werkende oorzaken. Ten onrechte zocht men een verklaring in de spieren, die met stijgend blikvlak tevens rolbeweging zouden moeten voortbrengen, — niet bedenkende, dat de innervatie, hetzij willekeurig, reflectorisch of automatisch, de spieren heeft doen worden wat ze zijn, en dat men, om de rolbeweging te verklaren, dus van de innervatie zou moeten rekenschap geven. Met de ontwikkeling der wetten van D. en Listing kan ik ze niet in verband brengen. Zou de grond ook in de convergentie schuilen?

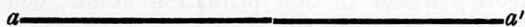
II. CONVERGENTIE.

Bij convergentie ontmoeten zich de bliklijnen in een punt, dat niet op oneindigen afstand ligt, — dat de oogen tot op weinige centimeters naderen kan. Licht het punt in het mediaan-vlak, dan is de convergentie symmetrisch; ligt het er buiten, asymmetrisch. Het blikvlak kan daarbij iederen stand aannemen, maar is gewoonlijk naar beneden gericht, en hiertoe bestaat een bepaalde neiging, die zich van zelf moest ontwikkelen, omdat nabijgelegen voorwerpen in den regel lager dan de oogen geplaatst zijn en de buiging van het hoofd slechts voor een deel die ligging compenseert.

Voor het zien op afstand, met evenwijdige bliklijnen, is het binoculaire zien vrij onverschillig. Eerst bij het zien in de nabijheid met convergeerende bliklijnen, waarbij de perspectivische beelden op de beide netvliezen verschillen en zich tot het stereoscopische zien verbinden, krijgt het een groote beteekenis. Van de wet van Listing kan hierbij geen sprake meer zijn. De bewegingen worden beheerscht door de eischen van het binoculaire zien, en

in deze zullen wij ook den grond leeren kennen van de incongruentie der netvliezen.

Dat bij gelijke richting der bliklijn, onder den invloed der convergentie, het oog een anderen stand heeft, daarvan kan men zich door een eenvoudige proef overtuigen. Men houde een horizontale lijn, ruim 60 m.m. lang, op



hoogstens 25 c. m. van de oogen, en beschouwe deze met evenwijdige bliklijnen: de halfbeelden van rechter en linker oog hebben nu gelijke richting en vormen, aan elkander sluitende, een ongebroken lijn van de dubbele lengte. Hierin komt geen verandering, wanneer men, de oogen links en rechts bewegende, afwisselend het rechter oog op a en het linker op a' richt. Maar ziet men bij convergentie, zoodat *te gelijk* het rechter oog op a en het linker op a' gericht is, dan houden de halfbeelden op evenwijdig te zijn en zij vormen, aan elkander sluitende, een gebroken lijn met den top naar boven. Convergentie in het horizontale vlak gaat dus gepaard met rolbeweging (en wel met *positieve*), die bij beweging met evenwijdige bliklijnen in hetzelfde vlak uitblijft.

Ook met behulp der nabeelden kan men zich van de rolbeweging bij convergentie overtuigen (Volkmann en Welcker, Hering). Men fixeere in den primairen stand, terwijl beide oogen geopend zijn, maar het eene met een klein scherm bedekt is, op een verticalen band een gemarkeerd punt, achter hetwelk de grauwe wand insgelijks een merkteeken draagt (óp een dunne verticale lijn), en ga voort, nadat de band is weggerukt, dit merkteeken te fixeeren: geschiedt dit bij onveranderde richting der bliklijnen, zoo vertoont het nabeeld zich verticaal (samen vallende met de verticale lijn), evenals de band; maar

geschiedt dit bij convergentie, door willekeurige draaiing der bliklijn achter het scherm, dan wijkt, bij mij althans, het nabeeld duidelijk van den verticalen stand af. — Deze proef eischt eenige oefening. Minder bezwaar levert wellicht de volgende. Aan weerszijden van een gekleurden verticalen band bevindt zich een verticale zwarte lijn. Men fixeere, weder in den primairen stand, een gemarkeerd punt van den band en convergeere, nadat de band is weggerukt, met horizontaal blikvlak zoo sterk, dat de twee zwarte strepen met overkruiste bliklijnen gefixeerd worden: die strepen overkruisen zich dan in het fixeerpunt, en het gekleurde nabeeld staat enkelvoudig tusschen de divergeerende zwarte strepen, dus een hoek vormende met de beelden der verticale lijnen zoowel van het eene als van het andere oog. Gereedelijk ziet men in, dat de overkruising der strepen in het gefixeerde punt reeds voldoende is, om de veranderde richting der meridianen naar de methode der halfbeelden te bewijzen; maar ik wenschte in een en dezelfde proef de beide methoden te verbinden, omdat Bloemert Schuurman (evenzoo Hamer) de afwijkingen bij de convergentie zeer wel naar de methode der halfbeelden had kunnen waarnemen, niet naar die der nabeelden, en daarom had gemeend aan de eerste alle bewijskracht te mogen ontzeggen 1). Hunne uitkomst bewees intusschen niets anders als dat de methode der nabeelden voor die der halfbeelden in scherpte moet onderdoen.

Zooals ik opmerkte, is de rolbeweging bij convergentie constant positief, maar loopt bij verschillende personen in graad zeer uiteen. Helmholtz verkreeg bij een

1) Vergelijkend onderzoek der bewegingen van het oog bij emmetropie en ametropie. Utrecht, 1863.

convergentie op 21 c. m. slechts $0^{\circ}.17'$, Volkmann op 30 c. m. reeds 1° op ieder oog. Hering 1) vond voor een convergentie van 20° op 60° een rolbeweging van $3^{\circ}.26'$, en naar zijne berekening had Meissner voor 41° convergentie eene rolbeweging van $2^{\circ}.17'$, von Recklinghausen voor een convergentie van 21° op 46° een rolbeweging van $1^{\circ}.40'$. Dastich alleen kon, naar Helmholtz mededeelt, geen invloed hoegenaamd constateeren. Mijne onderzoekingen hebben, zonder uitzondering, een *positieve* draaiing doen herkennen, — bij sommigen, zooals bij Van Moll, Engelmann en Küster, een zeer geringe, maar bij mij zelve niet minder dan 5° , en bij twintig anderen voor een convergentie, die gemakkelijk te bereiken was, van $0^{\circ}.6$ tot $2^{\circ}.75$, gemiddeld $1^{\circ}.8$, zonder onderscheid tusschen myopen en emmetropen (verg. bijlage I), — alles voor de rolbeweging van één oog.

Dezen invloed nu der convergentie heeft men als een afwijking van de wet van Listing behandeld. Dat kon geen inzicht geven in hare beteekenis. In plaats van hier te spreken van afwijkingen, moet het ons streven zijn, de eigen wetten op te sporen, die de beweging bij convergentie beheerschen.

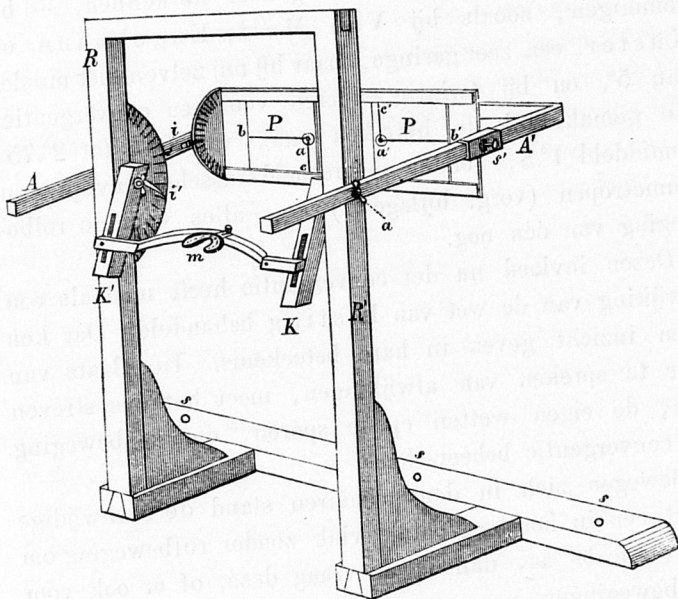
Bewegen zich in den primairen stand de evenwijdige bliklijnen in het horizontale vlak zonder rolbeweging om de verticale as, dan is de vraag deze, of er ook voor de bewegingen van convergentie een helling te vinden is van het blikvlak, waarbij zij geschieden om een as, loodrecht op dat vlak.

Voor mijn eigen oogen heb ik die vraag nauwkeurig onderzocht. De hoek H mijner schijnbaar horizontale

1) Die Lehre vom Binocularen Sehen. 1868. S. 92. u. f.

meridianen is betrekkelijk groot (des morgens gemiddeld $0^{\circ}.7$) en eerst bij een daling van het blikvlak van 45° tot 50° worden zij evenwijdig. Convergeer ik nu bij deze helling, dan ontstaat er negatieve rolbeweging. Maar geef ik aan het blikvlak een helling van ongeveer 38° , dan zijn en blijven ze, binnen ruime grenzen van convergentie, zoo goed als evenwijdig. Die helling kan dus in zooverre als *primaire stand* gelden voor symmetrische

Fig. 1.



convergentie, als hierbij de halfbeelden eener horizontale lijn bij toe- en afnemende convergentie evenwijdig over elkander schuiven. Voor nauwkeurige bepalingen kan men zich bedienen van het boven beschrevene Isocoop. Maar even goed bereikt men zijn doel, — en zelfs, zooals blijken zal, een tweede bovendien — met een eenvoudiger

diger
(fig. 1.

Het
38 ctn
A A',
kan
beves
twee
beug
scher
de g
H
schri
blad
tonn

k

z

a

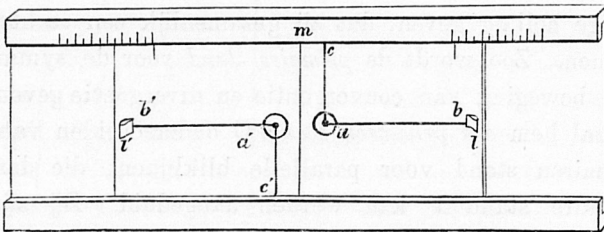
l

diger werktuig, dat men Horopteroscoop noemen kan. (fig. 1.)

Het bestaat uit een vierhoekig houten blad PP , breed 38 ctm. hoog 14 ctm., verschuifbaar langs twee armen AA' , waarop men den afstand van het blad tot de oogen kan aflezen, en die draaien om de as a . Het hoofd is bevestigd door het mondstuk m , welks beugel aan de twee korte armen KK , draaibaar is om dezelfde as a ; beugel en mondstuk worden zoo gesteld, dat het hoofd scherp den primairen stand P inneemt en dat de as a met de grondlijn der oogen samenvalt.

Het raam RR' , waarop de armen draaien, is door schroeven sss op een tafel bevestigd. — Op het houten blad, in sleuven verschuifbaar, bevinden zich twee kartonnen platen, die op de middellijn m (verg. fig. 2)

Fig. 2.



kunnen aaneen sluiten, dragende respectievelijk de horizontale lijnen ab en $a'b'$ en de verticale lijnen ac en $a'c'$. De twee platen kunnen door het trekken aan lisjes l en l' van elkander verwijderd worden, en de verdeling geeft nu aan, hoever de fixeerpunten a en a' uit elkander liggen. — Het houten blad is draaibaar om een as bij de schroef s' gelegen en gaande door de horizontale lijnen ab en $a'b'$. Bij verticalen stand wijst de index i der graadverdeling, die ter linkerzijde, loodrecht

op de richting van het houten blad, is aangebracht op 0° . — De index i' op de aan het raam bevestigde graadverdeeling wijst de helling aan van de armen A en A' , en daarmee den hoek s , dien, bij het fixeeren van a en a' , het blikvlak vormt met den primairen horizontalen stand.

De punten a en a' kunnen met en zonder overkruising worden gefixeerd. Geschiedt het zonder overkruising, bij een onderlingen afstand als die der draaipunten (ongeveer 64 mm.), dan zijn de bliklijnen evenwijdig; bij overkruising ligt het convergentie-punt op den halven afstand van het houten blad: alle graden van convergentie kan men verkrijgen, door óf het plankje op zijn armen, óf de kartonnen platen op het plankje te verschuiven. Bij het fixeeren van a en a' , hetzij met hetzij zonder overkruising der bliklijnen, sluiten twee halfbeelden tot ééne lijn aaneen, en men kan nu aan het blikvlak een zoodanige helling geven, dat zij gezamenlijk een rechte lijn vormen. Zoo wordt de *primaire stand* voor de symmetrische beweging van convergentie en divergentie gevonden. Ik zal hem als *primairen stand C* onderscheiden van den primairen stand voor parallelle bliklijnen, die dan als primaire stand P kan worden aangeduid. Zij zijn in zooverre niet gelijk te stellen als uit den laatste de parallelle bliklijnen zich in alle meridianen zonder radraaiing bewegen, terwijl in den eerste de bewegingen tot het blikvlak beperkt blijven.

Rijst nu het blikvlak boven den primairen stand C, dan ontstaat er, blijkens de richting der aaneensluitende halfbeelden, *positieve*, daalt het daar beneden, *negatieve rolbeweging*, — rolbeweging dus in gelijken zin als bij evenwijdige bliklijnen, en wel des te sneller, hoe sterker de convergentie: voor sterke convergenties kan men

daarom de gevorderde helling scherper inzetten dan voor zwakke.

Voor den primairen stand C vond ik bij alle onderzochte personen het blikvlak lager gericht dan voor den primairen stand P: de hoek, dien ze vormen, moge s heeten. Bij sommigen is hij gering, bij anderen aanzienlijk; bij mij stijgt hij tot 40° . (zie bijlage 2).

Het verschil hangt samen met het bedrag der rolbeweging, die aan convergentie in den primairen stand P eigen is; want deze is natuurlijk des te grooter, hoe grooter de hoek s , dat is, hoe meer P boven C ligt. Bij Volkman zal dus s vrij groot, bij Helmholtz zeer klein en bij Dastich gelijk 0° geweest zijn. Een soortgelijk geval (Dr. Grossmann) is ook mij voorgekomen. Bij de meesten bedraagt s 20° tot 30° , zooals ik zeide, constant in denzelfden zin.

Ik sprak van een tweede doel, dat zich met het horopteroscoop bereiken laat. Daartoe dienen de twee verticale lijnen ac en $a'c'$, op het houten blad aanwezig, de eene naar boven, de andere naar beneden gericht. (Vergel. fig. 1 en 2). Sluiten bij de proef de horizontale tot een rechte lijn aaneen, dan vertoonen de halfbeelden der verticale ons de incongruentie der netvliezen: zij vereenigen zich dan bij loodrechten stand van het houten blad (i op 0°) tot een gebroken lijn. Kantelt men nu het blad om zijn as, terwijl de bliklijnen evenwijdig zijn en dus loodrecht staan op die as, dan blijft de lijn gebroken. Maar convergeeren de bliklijnen onder een hoek op die as, zoo wordt door achteroverkanteling de gebroken lijn tot een rechte, met andere woorden, de schijnbaar verticale meridianen snijden elkander in het hellende vlak. De kanteling moet des te grooter zijn, hoe grooter de incongruentie, des te kleiner, hoe sterker

de convergentie. Op het vlak ziet men nu de horizontale en de verticale lijn elkander rechthoekig overkruisen, en ook de halfbeelden van andere lijnen, die onder gelijken hoeken, resp. naar boven en beneden, van a en a' uitgaan, vertoonen zich als rechte lijnen. Wij hebben dus een vlak gevonden, dat wel horoptervlak mag heeten, al verdient het in streng mathematischen zin dien naam niet. De hoek s blijft voor iedere convergentie gelijk; de kantelingshoek α neemt af met de convergentie. Dit blijkt bij de proef; maar hij laat zich ook voor iedere convergentie uit den incongruentie-hoek berekenen naar de formule

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\operatorname{tg} m}{\sin c}$$

waarin m de halve incongruentie-hoek ($\frac{1}{2} V-H$) en c de halve convergentie-hoek is.

Bij de proef vond ik voor convergenties op 1000, 500, 250, en 125 mm. ongeveer $\alpha = 37^\circ, 18^\circ, 12^\circ$ en 5° , wat met de resultaten der berekening, daarbij een incongruentie van 2.5 ten gronde liggende, tamelijk overeenstemt (verg. bijlage 3).

Dit zoogenoemde horoptervlak is van groote beteekenis. Bij de proef ligt het convergentie-punt tusschen de oogen en het blad; maar men kan het blad na de proef nader brengen tot op het convergentie-punt en zoo de verschillende punten van dat vlak onmiddellijk binoculair fixeeren. Met behulp van een zwak prisma overtuigt men zich nu, dat bij symmetrische convergentie onder den hoek s de halfbeelden van lijnen, in verschillende richting op dit vlak door het blikpunt getrokken, elkander bedekken, en dat bij beweging van het blikpunt binnen zekere grenzen over dat vlak daarin geen merkbare

storing ontstaat. Bij zijdelingsche beweging heeft, zooals de nabeelden leeren, wel is waar raddraaiing plaats (in denzelfden zin, als bij gedaald blikvlak met evenwijdige bliklijnen); maar aangezien ze voor beide oogen gelijk is, treedt daarbij het vlak ook weinig buiten den horopter.

Men kan voorts op het blad een gedrukte bladzijde leggen, en het blijkt nu, dat ze zich zeer gemakkelijk laat lezen. Natuurlijker nog wordt de houding, wanneer men met den beugel, welks as met de grondlijn samenvalt, het hoofd eenige graden voorover buigt en het blikvlak evenveel laat dalen. Inderdaad plegen wij bij het vrije lezen en schrijven zoodanigen stand te kiezen. De halfbeelden van den regel, dien wij lezen, vinden zodoende hunnen horopter in de evenwijdige netvlies-horizonten, en terwijl de bliklijnen door draaiing om een onveranderlijke as (en bij voortgezette innervatie derzelfde spieren) over den regel voortschrijden, worden de aangrenzende woorden reeds indirect zoo scherp mogelijk gezien en zodoende de geleidelijke overgang op den volgenden regel verzekerd. De meesten zullen bovendien bemerken, dat zij bij toenemende convergentie het blad onwillekeurig meer loodrecht op het blikvlak kantelen, hetgeen reeds de neiging bewijst, om ook de verticale uitbreiding van het blad zoo goed mogelijk in den horopter te brengen. Hebben zij het blad in de hand, dan richten zij daarbij tevens het hoofd op, zonder de betrekkelijke helling van het blikvlak te veranderen; en ligt het boek op een hellend vlak, dan buigen zij het hoofd, maar bereiken ook in dit geval, dat het blikvlak meer tot den verticalen stand op de bladzijde nadert. Het vasthouden van den horopter wordt nog daardoor bevorderd, dat de bewegingen der oogen vrij beperkt, die van het hoofd betrekkelijk uitgebreid zijn. Om zich hiervan te overtuigen, houde men een staafje,

bijv. een potlood, zóó tusschen de tanden, dat men over de punt met een der oogen op het midden der bladzijde een letter fixeert: ziet men vervolgens naar het begin en naar het einde van den regel of wel boven of onder op de bladzijde, dan blijft de punt van het potlood bij de bliklijn achter, maar niet veel: dat weinige vertegenwoordigt de beweging der oogen 1). Dat bij uitgebreide bewegingen der bliklijn het lezen onder afwijkende helling, vooral bij schuinsche niet door den stand van het hoofd gecompenseerde richting der regels, bezwaren ondervindt, deels ten gevolge der niet corresponderende halfbeelden, deels van het gevorderde continueele draaien der oogen om instantaneele assen, zal men gemakkelijk bewaarheid vinden.

Wij hebben thans te onderzoeken, onder welke voorwaarden de bewegingstypus der convergentie zich ontwikkelde.

In de eerste plaats vragen wij naar den oorsprong der convergentie zelve en van den daaraan verbonden primairen stand *C*.

Het zien bij convergentie onderstelt binoculair zien. Voor het binoculair zien is de eerste voorwaarde deze: dat zekere exquisite punten der beide netvliezen (in onze oogen de *foveae centrales*) beelden ontvangen van dezelfde voorwerpen. Hiertoe wordt een bepaalde betrekking in den stand der beide oogen gevorderd. Bij het pasgeboren kind is die betrekking met de gelijkmatige innervatie der spieren reeds *ongeveer* gegeven en blijft zich gelijk

1) Met Dr. Ritzmann heb ik een werktuig geconstrueerd, dat in staat stelt het aandeel der bewegingen van het hoofd en de oogen bij veranderde richting der bliklijn te bepalen. Verg. *Archiv für Ophthalmologie* B. XXI. H. 1. S. 131. Onderzoekingen D. IV.

bij de parallelle oogbewegingen, die kort na de geboorte, onder den invloed van gemeenschappelijke innervaties, worden waargenomen. Nu weten wij, hoe krachtig zich later de drang, om de bewegingen naar dien eersten eisch van het binoculaire zien te accommodeeren, openbaart (o. a. bij proeven met prismas). Wij besluiten daaruit, dat eene zekere neiging daartoe ook reeds was aangeboren: en deze moest er toe leiden, om bij normale spieren de gevorderde richting der bliklijnen nog *nader* en *juister* te bepalen.

Trachten wij dieper in het vraagstuk door te dringen, dan stuiten wij op de onvolkomen kennis aangaande het binoculaire zien in de verschillende dierklassen. Wij weten, dat met het bezit van twee oogen het binoculaire zien nog niet gegeven is, dat, waar het bestaat, de exquisite punten tamelijk excentrisch kunnen liggen, en dat bij sommige vogels twee paren exquisite punten voorkomen, meer centrale voor het afzonderlijk zien van ieder oog, meer excentrische voor het binoculaire zien (Heinrich Müller). Maar van de overgangsvormen tusschen het dubbele monoculaire en het binoculaire zien is ons zoo goed als niets bekend. Bij den mensch ontmoeten wij het merkwaardige feit, dat, wanneer door buitenwaarts scheelzien het binoculaire zien wordt opgeheven, het netvlies voor ieder oog een absolute zelfstandigheid verkrijgen kan, zoodat ieder oog zijn eigen gezichtsveld heeft en bij alle standen daarin volkomen georiënteerd is. Dit feit leidt tot de onderstelling, dat, omgekeerd, het binoculaire zien een secundaire vorm is, die zich uit het dubbele monoculaire heeft ontwikkeld. Ook de wedstrijd der oogen, die zich bij het binoculaire zien nog zoo duidelijk doet gelden, schijnt daarvoor te pleiten. Het zou dan kunnen beginnen met het ontstaan van een tweede paar exquisite punten, die allengs tot

die van het dubbel monoculaire zien zouden kunnen naderen, om er ten slotte meê samen te smelten. Doch genoeg, ik wil mij niet in bespiegelingen verdiepen, zoolang onze vergelijkend anatomische en physiologische kennis op dit punt zoo uiterst gebrekkig is. Hoe het zij, — de exquisite punten van het binoculaire zien moesten zich, bij een gegeven stand der gezichtsorganen, in verband met de ligging van gelijke netvliesbeelden, ontwikkelen, en de neiging, om op die punten steeds corresponderende beelden te ontvangen, moest de oogbewegingen naar de eischen van het binoculaire zien beheerschen. In betrekking tot verwijderde voorwerpen konden de bliklijnen parallel zijn, en zoo ontwikkelde zich het verband der parallelle oogbewegingen. Maar van verwijderde voorwerpen overgaande op nabijgelegene, moesten de bliklijnen convergeeren, en de ontwikkeling van den tweeden typus, de symmetrische bewegingen van convergentie en divergentie, was daarvan het gevolg. Inzonderheid moest bij het langzaam naderen en verwijderen van een voorwerp het streven naar convergentie en divergentie zeer geleidelijk gewekt worden. En hier, als overal, werkte het streven scheppend op de inneratie en op het contractiele weefsel.

Nabij gelegen voorwerpen en bepaaldelijk onze lichaamsdeelen, de armen en de handen, die, met de betaste objecten, in het richten van het blikvlak wel de hoofdrol spelen, liggen lager dan onze oogen. Verdeelt zich nu hier als overal de gevorderde beweging tusschen het hoofd en de bliklijnen, dan moest het blikvlak dalen, en de convergentie-typus zich bij benedenwaarts gelegen blikvlak ontwikkelen.

Om welke as zullen nu de oogen draaien, terwijl met het naderen en verwijderen der handen en der voorwerpen

de convergenties vermeerderen en verminderen? Stellen wij ons voor, dat door de beweging bij evenwijdige bliklijnen de corresponderende punten der netvlieshorizonten reeds ontwikkeld waren, dan konden deze de symmetrische bewegingen bij haar ontstaan beheerschen, en het streven, om gelijke halfbeelden aan die horizonten te verbinden en bij de beweging horizontale lijnen in zich zelve te doen verschuiven, moest draaiing om een as, loodrecht op de horizontale meridianen, dat is loodrecht op het blikvlak, ten gevolge hebben. Maar onwaarschijnlijk is het niet, dat het binoculaire zien zich ook al aanstonds bij convergentie ontwikkelde, en dan hebben wij ons weder een zoeken te denken naar de eenvoudigste baan en als boven (blz. 19) te vragen naar de gemiddelde van al de omwegen, die dan toch ook geene andere zijn kan als draaiing om diezelfde as: wat hiervoor pleit is de omstandigheid, dat voor de meeste oogen de horizonten eerst bij zekere daling van het blikvlak volkomen correspondeeren. Bovendien bedenke men, dat convergentie en divergentie uitsluitend geschieden in het blikvlak, en dat de netvlieshorizonten genoegzaam in dit vlak liggen, niet slechts bij den primairen stand *C*, maar bij iedere helling van het blikvlak, — die alleen uitgezonderd, waarbij convergentie en divergentie uiterst zeldzaam voorkomen. De symmetrische bewegingen bepalen dus vooral de locaalteekens der corresponderende horizonten en maken tevens de horizontale lijn, zooals nog nader blijken zal, tot de eigenlijke basis van het stereoscopische zien.

Door het bovenstaande acht ik voldoende rekenschap gegeven van den oorsprong der convergentie zelve en van den daaraan verbonden primairen stand *C*, met zijne symmetrische bewegingen, om assen, loodrecht op het blikvlak. Groote individüele verschillen kunnen ons daarbij niet

verwonderen ; want ongetwijfeld liepen ook de voorwaarden , waaronder de primaire stand *C* zich ontwikkelde , in het voorgeslacht zoowel als in het individu zeer uiteen.

Wij begonnen met aan te toonen , dat in den primairen stand *P* de symmetrische bewegingen met rolbeweging gepaard gaan , en omgekeerd vinden wij in den primairen stand *C* raddraaiing bij zijdelingsche beweging met parallelle bliklijnen. Klaarblijkelijk ligt dus aan de symmetrische bewegingen een bijzondere innervatie ten gronde. Wij kunnen dan ook in den normalen toestand de bliklijnen op verre na niet zoo sterk convergeerend naar het mediaanvlak richten , als elk oog afzonderlijk bij evenwijdige bliklijnen , en het vermogen tot convergentie , het zoogenoemde fusie-vermogen , is soms in hooge mate gestoord , zonder dat de draaiing naar het mediane vlak , afwisselend van het eene en van het andere oog , in 't minst geleden heeft. Eindelijk blijkt de specifieke innervatie bij convergentie daáruit , dat ze met accommodatie voor de nabijheid geassocieerd is.

Wij stellen ons nu voor , dat deze innervatie zich bij elken stand der bliklijnen , onafhankelijk van de innervatie , die dezen voortbracht , voegen kan , en telkens in werking treedt met het streven , om in de nabijheid te zien. En nu laat zich bewijzen , dat de hiervan afhankelijke spierwerking bij gestegen blikvlak een positieve , bij gedaald blikvlak een negatieve rolbeweging determineert , des te sterker , hoe meer het blikvlak van den primairen stand *C* is afgeweken en hoe hooger de graad is van convergentie 1). Van die rolbeweging schijnt daarmee voldoende

1) Bij een latere gelegenheid de spierwerking behandelende , hoop ik het hier beweerde duidelijk in het licht te stellen. Om er hier eenige voorstelling van te geven , diene het volgende. In den primairen stand *P* draait de *m. rectus internus* het oog

rekenschap gegeven. Niet de spierwerking, als zoodanig, — men onderscheide dit wel, — maar de innervatie, waarvan ze afhangt, wordt tot verklaring der rolbeweging ingeroepen.

Gelijke rolbewegingen nu hebben wij bij evenwijdige bliklijnen aangetroffen en haren oorsprong daar onverklaard gelaten: zou de grond, zoo eindigde ik, ook in de convergentie schuilen? En in waarheid: bestaat bij het zien naar boven en beneden een zekere neiging resp. tot divergentie en convergentie, dan moeten, om de bliklijnen evenwijdig te houden, omgekeerd de innervaties tot convergentie en divergentie daarbij in werking treden. Mij dunkt, dat het ontstaan der rolbeweging bij evenwijdige bliklijnen hiermede voldoende is toegelicht.

om een as, loodrecht op het blikvlak. In den primairen stand C kan die spier alleen het oog niet meer om een zoodanige as draaien, want zij heeft opgehouden in het blikvlak te liggen: zij werkt nu tevens onder een zekeren hoek op de bliklijn en zou dus bij het adduceeren ook een negatieve draaiing om de bliklijn voortbrengen. Die draaiing bestaat echter bij het convergeeren niet. Ze wordt dus gecompenseerd, en die compensatie is slechts mogelijk door gelijktijdige contractie van de onderste rechte en de onderste schuinsche spier. Beide liggen met hare antagonisten in een verticaal vlak en elk van haar heeft een composante op de transversale as en een op de gezichtsas (Onderz. Lab. III. 2. p. 385). Die op de transversale as werken in tegenovergestelden zin (hebben verschillende half-assen) en kunnen elkander dus neutraliseeren. Die op de gezichtsas werken in gelijken zin, als positieve draaiing, en neutraliseeren gezamenlijk de negatieve draaiing, die van den m. rectus internus uitgaat. Hoe sterker nu de convergentie en hoe grooter de daling is van het blikvlak, des te meer compensatie wordt er gevorderd. Nu is het duidelijk, dat, wanneer bij stijgend blikvlak die compenseerende beweging in gelijke mate voortduurt, zij een overwicht zal verkrijgen en dat zij bij verder dalend blikvlak onvoldoende worden zal. De geconstateerde rolbewegingen kunnen daarvan 't gevolg zijn.

Intusschen zou men kunnen vragen, waarom bij convergentie het streven is uitgebleven, om bij elken stand van het blikvlak draaiing te verkrijgen om een as, loodrecht op dat vlak, om dus bij iedere helling de schijnbaar horizontale meridianen evenwijdig te houden. Bij uitzondering komt dit tot in zekere mate werkelijk voor (Helmholtz, Dr. Grossmann). Overigens geloof ik, dat zich daarop het volgende laat antwoorden. De symmetrische bewegingen werden, zooals wij zagen, schier alleen bij gedaald blikvlak gevorderd. Tusschen die daling en die bewegingen moest zich dus een associatie ontwikkelen. Kwam er nu convergentie voor bij een anderen stand van het blikvlak, dan lag in de convergentie een auxiliaire aanwijzing voor dien stand, voor de ligging dus van het gefixeerde voorwerp, en tevens een zekere aanmaning, om aan het hoofd of aan het voorwerp, wat immers bij het zien in de nabijheid zoo gemakkelijk geschied kan, een anderen stand te geven, zonder dat inmiddels uit die *voorbijgaande* incongruentie eenigerlei stoornis van het zien voortvloeyde. Het streven, om in elken stand van het blikvlak bij de symmetrische bewegingen rolling te vermijden, kon zich dus niet sterk doen gevoelen. Overigens is het een feit, zooals later blijken zal, dat, wanneer men horizontale lijnen buiten den primairen stand C *eenigen tijd* convergeerend blijft fixeeren, de neiging, om door symmetrische rolbeweging de halfbeelden te vereenigen, niet uitblijft.

Wij hebben boven gezien, dat, terwijl wij met benedenwaarts blikvlak convergeeren, het vlak, waarop wij bij voorkeur zien, nog sterker achterover helt. Die sterkere helling bleek in verband te staan met den hoek V—H en werd bij iedere convergentie daarvan afhankelijk gemaakt. Maar zou toch oorspronkelijk de gekozene helling niet

de oorzaak kunnen zijn en $V-H$ het gevolg? Werkelijk geloof ik, met die helling den genetischen grond der zoo raadselachtige incongruentie gevonden te hebben. Zoo-danige helling werd niet gekozen, omdat het binoculaire zien ze vorderde; maar zij was noodig, om het afschuiven en vallen der voorwerpen, waarmee men zich bezig hield, te voorkomen. En zoolang ons geslacht arbeid verrichtte op een vlak, naderende tot het horizontale, zonder dat bij zekere buiging van het hoofd het hellend blikvlak loodrecht op dat vlak kwam te staan, was met de neiging, om voor de halfbeelden corresponderende punten te vindiceeren, de voorwaarde gegeven voor het ontstaan der incongruentie tusschen de horizontale en verticale meridianen. En dat die neiging bestond, blijkt reeds daaruit, dat die incongruentie, eenmaal geworden, ook waar wij zonder handenarbeid in de nabijheid wenschen te zien, bijv. bij het lezen, de betrekking tusschen de richting der bliklijnen en het vlak, waarop wij zien, beheerscht. — Voor het rusten der armen was het bedoelde vlak even gewenscht. Werkt de schilder op een bijna staand vlak, dan zoekt hij een steunpunt voor zijn arm op een hellenden stok.

Helmholtz meende, zooals men weet, eene genetische verklaring voor den hoek V te vinden in het streven, den beganen grond als horopter te hebben. Intusschen maakte Hering 1) de opmerking, en de juistheid hiervan is ons door de onderzoekingen van Van Moll 2) nader gebleken, dat de waarde van den hoek V slechts bij hooge uitzondering daaraan ongeveer voldoet. Bovendien betwijfel ik, of van de zijde van den beganen grond een sterke drang

1) Beiträge. S. 348.

2) Onderz. Labor. Utrechtsche Hoogeschool. 3de reeks. III. 1. 1874.

op de corresponderende meridianen zou kunnen uitgaan. Dicht voor onze voeten is bij nagenoeg horizontaal blikvlak de ligging te excentrisch, om het onvolkomen samenvallen der halfbeelden merkbaar te doen worden, en op eenigen afstand waarschuwt elke buitengewone indruk ons vroeg genoeg, om er nog bij tijds den blik op te richten.

In de nabijheid daarentegen, binnen het bereik onzer handen, moeten wij, het eene fixeerende, het andere, dat indirect gezien wordt, kunnen grijpen, en hoe dichter het zich bij het horoptervlak bevindt, des te nauwkeuriger is, in overeenstemming met de wet van Fechner, de afstandsbepaling, die daartoe gevorderd wordt. Bij een helling, waaronder ongeveer de objecten liggen, waarmee wij ons in de nabijheid bezig houden, heeft de horopter de hoogste beteekenis. Bij het zien op afstand is het voldoende, dat de schijnbaar horizontale meridianen, waarin zich de bliklijnen nu hoofdzakelijk bewegen, nagenoeg samenvallen, en dit is in werkelijkheid bereikt: is er nog eenige afwijking, het zien naar den horizont of naar horizontale lijnen corrigeert ze, zooals wij zien zullen, door symmetrische rolbeweging. De hoek der schijnbaar verticale meridianen brengt hier geen stoornis aan. Immers van stereoscopisch zien, in het bijzonder van het herkennen der helling eener staande lijn in het mediane vlak, kan bij het zien op afstand geen sprake zijn, en de constante hoek V ; waaronder hare halfbeelden zich in het convergentie-punt overkruisen, blijft onbemerkt en lost zich op in de voorstelling eener gemiddelde richting. Wel is waar, zal het boven en onder het convergentie-punt gelegene indirect wat minder nauwkeurig gezien worden; maar aan nauwkeurig zien daarvan bestaat geen behoefte.

Met deze zienswijze plaats ik mij, onverminderd mijnen

eerbied voor zijne studien over den mathematischen horoptor, lijnrecht tegenover die van Hering. Deze schrandere geleerde acht den horoptor „nur dann von besondern Nutzen, „wenn sich die Augen mit fernen Dingen beschäftigen,“ van luttel waarde daarentegen bij het zien in de nabijheid, „weil die Aussendinge meist körperlich sind, und also „immerhin nur theilweise im Horoptor liegen könnten.“ (Beiträge. S. 262). Maar juist ten behoeve van het stereoscopische zien, — en dit ziet hij voorbij, — is de groepeerling der voorwerpen, waarmede wij ons bezig houden, in de nabijheid van een ideaal horoptervlak zoo uiterst belangrijk. Streven wij daarnaar bij iederen handenarbeid, dan zijn de condities, waaronder de arbeid geschiedde, tevens die, waaronder zich de correspondentie der netvliesen ontwikkelde. In hoeverre nu individuële oefening in staat is, deze te wijzigen, waag ik niet te beslissen. Wij weten, dat ieder oog aan de lijnen van een kruis, dat rechthoekig gezien wordt, een richting geeft in verband met de incongruentie tusschen de beide netvliesen, en dat de hoek dien de voor elk der oogen verticaal schijnende lijnen van het kruis vormen, den hoek V doorgaans tamelijk nabij komt: nu is het zeker een belangrijke vraag, die nog op hare beantwoording wacht, of, wanneer het eene oog kort na de geboorte of ook later is verloren gegaan, het overgeblevene de lijnen van het kruis zuiver rechthoekig stellen zal.

De groote individuële verschillen van den hoek V kunnen in elk geval verklaard worden uit de uiteenlopende voorwaarden, waaronder zich hetzij in het individu hetzij in het voorgelacht de genoemde hoek ontwikkelde.

Uit bijlage II zal gebleken zijn, dat voor mijne oogen de voor den primären stand C gevorderde helling van het

blikvlak niet constant is, maar met toenemende convergentie afneemt. Ik meende aanvankelijk hierin een grond gevonden te hebben van de rolbeweging, die in positieven zin aan het rijzen, in negatieven aan het dalen van het blikvlak verbonden is. Een hooger gelegen punt ligt op het horoptervlak verder van de oogen verwijderd en wordt dus bij minder convergentie gezien, die ook minder positieve rolbeweging medebrengt, en deze zou kunnen gecompenseerd worden door eene positieve rolbeweging, aan het stijgen van het blikvlak verbonden. Die compensatie treedt nu in, en wel krachtens het streven, dat zich onder alle omstandigheden openbaart, om de halfbeelden van horizontale lijnen te doen samenvallen. Zou dan, zoo vroeg ik, de positieve rolbeweging, aan het stijgen van het blikvlak verbonden, hierin niet haren grond hebben? En is dit zoo, zoo ging ik voort, zijn wij dan niet gerechtigd, de bij evenwijdige bliklijnen aan stijgend en dalend blikvlak verbonden rolbeweging aan dezelfde oorzaak toe te schrijven?

De verklaring scheen niet onaannemelijk. Maar zij moest verworpen worden, althans als hoofd-moment, toen het bleek, dat bij anderen voor verschillende graden van convergentie genoegzaam dezelfde primaire stand C gevonden wordt. De geassocieerde innervatie gaf mij nu boven eene verklaring aan de hand, die eene meer algemeene gelding heeft.

Ik moet nu ook trachten rekenschap te geven van de exceptie, die mijne oogen opleverden. Zij schijnt mij samen te hangen met den bijzonder grooten hoek H, die, buiten allen invloed der in het gezichtsveld aanwezige lijnen gemiddeld $0^{\circ}.8$ bedraagt en tot 1° en meer stijgen kan. Het blikvlak moet ongeveer 50° naar beneden worden gebracht, om dien hoek te doen verdwijnen. Bij convergentie zoeken wij ook zoodanige helling op, waarbij hij verdwijnt,

en het blikvlak zal, om dat te bereiken, dus altijd meer moeten dalen, dan zonder den grooten hoek H door den primairen stand C zou zijn gevorderd. Maar aangezien de negatieve rolbeweging, voor gelijke daling beneden den primairen stand C, des te sterker is, hoe sterker de convergentie, zoo zal, met toenemende convergentie de voor compensatie gevorderde daling kleiner en kleiner worden. Dit voert mij tot de conclusie, dat, afgezien van den grooten hoek H, de primaire stand C eigenlijk nog iets hooger zou liggen dan bij mijn sterkste convergentie gevonden wordt.

III. PARALLELE ROLBEWEGING.

In 1858 trad Alexander Hueck op met de leer, dat, bij het overhellen van het hoofd naar den schouder, de beide oogen zich in den tegengestelden zin om de gezichtsassen draaien: hij ging zoo ver te beweren, dat bij een overhelling van 25° tot 27° de verticale meridianen ten gevolge dier rolbeweging haren verticalen stand nog onveranderd behouden. Die theorie vond van vele kanten bijval. Sommigen meenden ook, evenals Hueck, aan de vaten van de conjunctiva en aan de iris dergelijke rolbeweging te constateeren. Maar tegen de methode der nabeelden was zij niet bestand. Ik overtuigde mij, dat een lijnvormig nabeeld, in den primairen stand aan den verticalen meridiaan verbonden, bij de minste overhelling van het hoofd gereedelijk die overhelling volgt, en dat die meridiaan dus zelfs geen fractie van een graad verticaal blijft. De proef werd algemeen bevestigd en de theorie van Hueck ter zijde gesteld.

Eerst 25 jaren later zou blijken, dat Hueck ten deele recht had. Astigmatisme, zooals men weet, wordt door

cylindrische glazen geneutraliseerd, — bij een bepaalden stand der as van den cylinder. Javal, zelf astigmatisch, neigde, gewapend met den neutraliseerenden bril, zijn hoofd ter zijde en vond, dat de correctie nu onvolkomen werd: het oog, zoo besloot hij, moest achter den cylinder om zijn as gedraaid zijn. Zoo was het inderdaad. Die draaiing bedraagt echter slechts een kleine fractie van de overhelling van het hoofd, voor geringe graden ongeveer $\frac{1}{5}$, voor sterke nauwelijks $\frac{1}{10}$, — eenigszins verschillende bij verschillende personen, — en ze kon dus bij de proef met het nabeeld ligt verborgen blijven: inderdaad, wie de proef neemt, komt in den waan, dat de helling van het nabeeld aan die van 't hoofd gelijk is. Op verschillende wijzen kan men zich nu echter overtuigen, dat het nabeeld achterblijft bij deze 1). De kleine toestel, boven beschreven (bl. 7), die tot contrôle der wet van Listing en D. diende, laat zich daarvoor gebruiken. Eerst de basis van den gekleurden strook en eenige sekunden daarna den top fixeerende, ziet men het nabeeld in de verlenging van den strook. Maar neigt men, na fixatie, het hoofd ter zijde, dan ziet men het nabeeld aan den top een hoek maken met den strook: de strook ligt dus niet meer in den meridiaan, waarin hij lag, toen hij het beeld vormde, waarvan zich nu het nabeeld vertoont. — Ook om de rolbeweging aan de iris en de vaten der conjunctiva te zien, heb ik een middel aan de hand gedaan. De door Hueck waargenomen rolbeweging had ik gemeend, aan de vergezellende beweging der bliklijn te mogen toeschrijven. Om die uit te sluiten, liet ik het oog zich zelf waarnemen in een spiegeltje, dat met een mondstuk tusschen de tanden

1) Zie de proeven Helmholtz, Skrebitsky, Nagel, Woinow en bij Mulder, l. c.

werd geklemd, en terwijl de richting der bliklijn in betrekking tot het hoofd nu onveranderd bleef, kon ik geen rolbeweging van het oog ontdekken. De methode is, in beginsel, onberispelijk en heeft later in betrekking tot andere vraagstukken groote diensten bewezen; maar de juistheid der waarneming schoot te kort: met evenwijdige bliklijnen ziende, kon ik voor den kleinen afstand van het spiegelbeeld niet accommodeeren, en met een convex brilglas voor het oog was het verschijnsel nog minder te zien. In plaats van een gewoon spiegeltje, neem ik nu een op de achtervlakte verfoeliede biconvexe lens (No. 38) en overtuig mij zonder moeite, dat het oog, in het algemeen de overhelling van het hoofd volgende, toch ook een kleine rolbeweging ondergaat in tegengestelden zin.

De rolbewegingen zijn voor beide oogen constant even groot, en dus werkelijk parallel. Ik overtuigde mij hiervan door op een mondstuk twee staande staafjes te plaatsen (No. 39), op 70 mm. van elkander en resp. evenwijdig aan de twee schijnbaar verticale meridianen; zij vertoonen dus, bij evenwijdige bliklijnen, parallele halfbeelden nabij elkander, en — deze blijven parallel bij alle bewegingen van hoofd en tronk.

Om de rolbeweging als functie der overhelling te meten, is de nauwkeurigste methode die, welke Dr. Mulder in mijn laboratorium volgde. Het voor die proeven door mij geconstrueerde werktuig (No. 41) bestaat uit een hoofdhouder, draaiende om een horizontale as, loodrecht op de grondlijn (overhelling dus naar den schouder), en in iederen stand door den waarnemer snel en gemakkelijk vast te zetten. Bij daarin bevestigd hoofd, en wel nauwkeurig in den primairen stand, fixeert het oog 20 sekunden ongeveer een lichtlijn van gasvlammen op afstand, als middellijn

van een groote schijf, dooft ze door een kleine handbeweging tot op een minimum uit, draait nu het hoofd in den hoofdhouder en zet dezen door een tweede handbeweging weder vast, juist terwijl het nabeeld met een uitgespannen middellijn der schijf van bekende richting samenvalt: het verschil tusschen de helling dezer middellijn en die van het hoofd, beide scherp te bepalen, is de rolbeweging. Zij komt zoowel bij convergentie als bij evenwijdige bliklijnen voor.

Ik moet hier nog bijvoegen, dat, zooals reeds door Breuer beweerd was, de rolbeweging bij snelle overhelling aanvankelijk iets verder gaat, om echter in minder dan een seconde weer terug te wijken.

Wanneer wij naar een verklaring zoeken van de parallele rolbewegingen dan is de eerste vraag deze: kennen wij andere bewegingen, die onder analoge voorwaarden ontstaan?

Nagel heeft gevonden dat, bij ligging op den rug eene draaiing om de vertikale as van het lichaam rolbeweging voortbrengt; maar, goed geanalyseerd, blijkt deze een direct uitvloeisel te zijn van de boven behandelde.

Werkelijk analoog, maar toch verschillend van deze, is in de eerste plaats de rolbeweging, die ontstaat, wanneer, bij horizontaal naar beneden gericht aangezichtsvlak, het hoofd in een horizontaal vlak wordt heen en weer bewogen. Die rolbeweging is door Breuer 1) onderzocht. Hij richtte de proef zoodanig in, dat het hoofd, bij naar beneden gericht aangezichtsvlak, draait om eene as, die, loodrecht op de grondlijn, van den neuswortel naar het

1) Ueber die Function der Bogengänge des Ohrlabyrinthes. Medicinische Jahrb. I. 1874.

achterhoofd gaat. Ook naar andere methoden werd ze door Mulder en mij onderzocht en bevestigd gevonden. Deze rolling is echter slechts een voorbijgaande: uit den aard der zaak kan ze niet blijvend zijn.

Voorts, de zijdelingsche beweging der oogen bij draaiing van het hoofd om de verticale as: vraagt men iemand, het hoofd heen en weêr te bewegen (het gebaar der ontkenning), dan zal men meestal vinden, dat het oog die bewegingen of niet of onvolkomen volgt; eveneens, wanneer men, achter iemand staande, met de op de slapen gelegde handen diens hoofd de gezegde beweging doet ondergaan. Bij gesloten oogen vertoont het nabeeld eener vlam daarbij ook minder uitgebreide bewegingen dan het hoofd.

Duidelijk toonen de schokkende bewegingen van een nabeeld bij voortgezette draaiing om de lengteas van het lichaam, dat de bliklijnen daarbij ook telkens achterblijven.

Bij draaiing van het hoofd om een dwarse horizontale as hebben de oogen almede de neiging dezelfde voorwerpen te blijven fixeeren, zooals het vizier van een tusschen de tanden geklemd staafje leeren kan.

Voorts met sterk gebogen hoofd, het aangezicht horizontaal, den blik op den grond vestigende, overtuigen wij ons, op dezelfde wijze, dat de oogen de buiging niet volkomen volgden, en bewegen wij ons nu in dien stand voor- en achterwaarts, dan bestaat even kennelijk een zekere drang, om den blik met het voorbischuivende vlak te laten medegaan.

Bij den gewonen gang gaat het hoofd voor iedere schrede op en neer, zonder eenigen invloed op het fixeerpunt, en ook bij het gaan zitten en oprijzen van den stoel wordt dikwijls de hoofdbeweging gecompenseerd.

Eindelijk, wanneer men, in een wagen passief voor- of achteruit bewogen, den blik ter zijde heeft gericht,

heeft men moeite, om door abstractie van alle voorwerpen de oogen bewegeloos in de orbita te fixeeren: telkens blijven ze als aan de voorwerpen hangen, om dan weêr een kleinen sprong te doen.

Bij gesloten oogen duren, zooals de nabeelden leeren al die verschijnselen meer of minder voort, en waarschijnlijk zal men ze ook bij blinden aantreffen.

Deze feiten nu toonen aan, dat er een neiging bestaat, de bewegingen van het hoofd en van het lichaam door oogbewegingen te compenseeren, een neiging dus, om voorwerpen, die werkelijk in rust zijn, zoolang het ons niet te doen is om andere voorwerpen te zien, aan dezelfde punten van het netvlies gebonden te houden. Bij de gewone bewegingen van het hoofd komt die neiging reeds sterk uit. Levendige personen, met wie wij in gesprek zijn, maken voortdurend allerlei gesticulaties met het hoofd en houden daarbij meestal onveranderd den blik op ons gevestigd. Velerlei mechanische arbeid vordert bewegingen van het hoofd, terwijl de blik voortdurend op hetzelfde punt moet gericht blijven: ook hier zijn de compenseerende oogbewegingen onmiddellijk en gelijktijdig gegeven. 't Is het tegengestelde van hetgeen wij zien gebeuren, wanneer een indirect gezien punt onze aandacht en daarmede den blik tot zich trekt: de oogen snellen derwaarts, en het hoofd, ja het geheele lichaam, werken in gelijken zin en volbrengen een deel van den weg: de associatie is zoo dringend, dat er veel wilskracht vereischt wordt, om ze te overwinnen. Doch schier even regelmatig werkt de compenseerende associatie, die wij hier ter sprake brachten, en die wij tot verklaring der rolbeweging wenschen in te roepen.

Neigen wij het hoofd *langzaam* naar den schouder, terwijl wij bijv. een verticale lijn beschouwen, dan com-

penseert de voorstelling dier beweging den overgang van het beeld op andere meridianen: de lijn schijnt niet van richting te veranderen. Voor een lichtlijn in het duister is intusschen die compensatie ontoereikend: deze schijnt dan naar de tegenovergestelde zijde over te hellen en, om verticaal te schijnen, moet ze naar dezelfde zijde geneigd zijn als het hoofd.

Geschieden de bewegingen *snel* en daarbij afwisselend links en rechts, dan beantwoordt de verticale lijn die onder alle omstandigheden met bewegingen rechts en links. Zoo weinig absolute aanwijzing de meridianen ons omtrent helling geven, zoo nauwkeurig verraden ze bij vergelijking de hoeken, waaronder twee lijnen zich in het gefixeerde punt kruisen; en het is nu zeer begrijpelijk, dat, wanneer met betrekkelijk groote snelheid het beeld van den eenen op den anderen meridiaan overgaat, ondanks het compenseerend bewustzijn der hoofdbeweging, schijnbeweging, uit de netvliesindrukken als geabstraheerd, zich opdoet. Meer nu is er niet noodig, naar hetgeen wij gezien hebben, om den aanstoot tot rolbeweging te geven. Juist dat deze bij snelle bewegingen, waarbij, zooals ons boven gebleken is, de schijnbeweging het sterkst is, zich als voorbijgaande rolbeweging ook sterker ontwikkelt, is het zekerst bewijs, dat zij in de neiging tot compensatie haren grond heeft, en wij mogen ze hiermede genetisch verklaard achten. Aan de andere zijde, vinden wij de verklaring van hare onvolkomenheid in den minder sterken dwang tot het binden der meridianen dan tot het vasthouden der gefixeerde punten, waartoe de boven besprokene analoge gevallen betrekking hebben, maar waaraan de zijdelingsche overhelling van het hoofd geen afbreuk doet.

De associatie tusschen de rolbeweging en de over-

helling van het hoofd is zoo innig, dat zij bij gesloten oogen, bij blinden, ja zelfs, naar het schijnt, bij blindgeborenen niet ontbreekt. Hieruit te besluiten, dat zij niet van de netvliesindrukken zou uitgaan, verraadt gebrek aan inzicht in den oorsprong van het verband onzer verichtingen.

Ook kan het niet bevreemden, dat de van rolbeweging afhankelijke stand der oogen, zoolang de overhelling duurt, in genoegzaam constanten graad aanhoudt, te minder, omdat die stand zou kunnen bijdragen tot eene juistere voorstelling omtrent de richting in de ruimte, zooals, in aansluiting aan Nagel's verklaring van de rolbeweging, door Mulder werd betoogd.

De merkwaardige ontdekking van Flourens (1842), dat na het doorsnijden der halfcirkelvormige kanalen van het inwendig gehoor de dieren slingerende en tuimelende bewegingen vertoonen, heeft in onzen tijd door de onderzoekingen van Goltz, Mach, Breuer en Brown tot de theorie geleid, dat die kanalen zintuigen zouden zijn „für das Gleichgewicht des Kopfes und mittelbar des „ganzen Körpers.“ De leer is deze: „dass die Ampullen-„nerven, vermöge ihrer specifischen Energie, jeden Reiz „mit einer Drehempfindung beantworten“ (Mach).

Genoemde schrijvers schijnen nu geneigd, om alle bewegingen van het oog, die het gevolg zijn van bewegingen van het hoofd of van een veranderden evenwichtstoestand, uit dat zoogenoemde evenwichtsorgaan af te leiden. Breuer vooral gewaagt telkens van reflex-bewegingen, ten gevolge van prikkeling van de zenuwen der ampullae. In de eerste plaats dient te worden opgemerkt, dat het woord *Reflex* hier niet in den gewonen zin gebruikt is. Reflex wordt ondersteld

zonder bewustzijn te kunnen verloopen, en bij de prikkeling van het evenwichtorgaan is daarentegen de gevolgde beweging onafscheidelijk van de voorstelling. En dit brengt ons tot het cardinale punt: de voorstelling zelve is de voorwaarde der beweging, en iedere factor, die de voorstelling uitlokt, bepaalt daarmee tevens de daarvan afhankelijke bewegingen. Zoo overtuigen wij ons gemakkelijk, dat alle kleine hoofdbewegingen, bij het fixeeren van een voorwerp, *gelijktijdig* door geassocieerde beweging der oogen gecompenseerd worden. En merken wij dit op bij draaiing van het hoofd om de verticale en horizontale as (verg. bl. 50), er bestaat geen de minste reden, om het niet evenzeer van toepassing te achten op de rolbewegingen, die aan zijdelingsche overhelling van het hoofd verbonden zijn. Moest hierbij door beweging van het hoofd een spanning der endolymphie voortgebracht en aan de ampullae meêgedeeld worden, om eerst dan reflex-beweging uit te lokken, dan zou deze wel ongeveer $\frac{1}{10}$ seconde achterblijven, en iedere beweging van het hoofd zou beginnen, met het fixatiepunt te veranderen. Bij de willekeurige beweging schrijven wij dus de bewegingen van het hoofd en van de oogen aan gelijktijdige, of, indien men wil, aan een en dezelfde gecompliceerde impulsie toe. Ook waar wij het oogenblik eener passieve beweging kunnen voorzien, weet de impulsie het juiste moment voor de spiercontractie te treffen, vóór die passieve beweging haren invloed nog doet gevoelen. In het algemeen wapenen wij ons met onzen wil tegen hetgeen wij voorzien, en de oogen zijn daarbij de zekerste wachters. Met gesloten oogen wordt de beste ruitser bij onverwachte sprongen van het paard uit den zadel geworpen. Alléén dus, waar de bewegingen van het hoofd niet voorzien zijn, zou wellicht aan het evenwichtsorgaan een plaats kunnen worden

ingeruimd. Maar ook dan is het de vraag, of de verschuiving der beelden op het netvlies niet reeds spoediger en zekerder de corresponderende bewegingen zou uitlokken.

Reeds boven (bl. 49) werd bewezen (N^o. 39, mondstuk met verticale staafjes), dat de parallelle rolbeweging op beide oogen gelijktijdig en in gelijken graad geschiedt. Ook merkte ik op, dat de controleur der wetten van Listing en D. leeren kan, in hoeverre de wet van Listing bij de aan zijdelingsche overhelling verbondene rolbeweging nog geldig blijft. Die vraag verdient wel een nader onderzoek.

IV. ZELFSTANDIGE SYMMETRISCHE ROLBEWEGING.

Wij hebben hier te handelen over een rolbeweging, waarbij de beide oogen gelijktijdig naar de mediaan- of naar de temporaal-zijde, dus symmetrisch, om hunne bliklijn draaien, onafhankelijk niet slechts van andere bewegingen der bliklijn, wat ook van de parallelle rolbewegingen geldt, maar tevens onafhankelijk van de bewegingen van hoofd en tronk. Uitgebreid is deze symmetrische rolbeweging niet, maar belangrijk is ze in hooge mate, omdat haar verband tot de optische functie zoo kennelijk in het oog springt.

Mijne proeven met het isoscoop voerden mij tot de studie der symmetrische rolbeweging. Ik wenschte met dat werktuig den stand der meridianen bij iedere richting der bliklijnen te onderzoeken. Maar nu bleek reeds bij de eerste proeven, dat zich daarbij nog andere factoren doen gelden, en dat bepaaldelijk de in het gezichtsveld aanwezige voorwerpen op den stand der meridianen invloed oefenen. Die invloed moest nu in de eerste plaats worden onderzocht.

Rolbeweging onder den drang der netvliesbeelden is niet geheel onbekend. Vóór meer dan 25 jaren toonde ik aan, dat, wanneer men door een zwak voor het eene oog te houden prisma het netvliesbeeld dier zijde verplaatst, hetzij naar binnen of buiten, hetzij ook naar boven of beneden, de drang tot enkel zien bewegingen uitlokt, die de beelden op corresponderende punten terugbrengen. Later nu deed Helmholtz, door een eigenaardige combinatie van twee prisma's, het beeld voor het eene oog ter zijde neigen en overtuigde zich van het streven, om ook deze afwijking, en wel door rolbeweging, te corrigeeren. Reeds vroeger had Nagel onder den invloed van in hun vlak gedraaide stereoscopische figuren rolbeweging zien ontstaan, en Hering, die aanvankelijk Helmholtz had bestreden, moest, na herhaling der proeven van Nagel, het pleit gewonnen geven. 't Is een langzaam zich ontwikkelende beweging, niet ongelijk aan die, welke op verplaatsing van het eene netvliesbeeld naar boven en beneden volgt. Maar in dat verschijnsel schijnt men niets meer gezien te hebben dan het effect van een abnormalen drang: was het oog in staat, daaraan te gehoorzamen, dit kon, zoo meende Nagel, daarom niet bevreemden, wijl rolbeweging, als geassocieerd aan zekere bewegingen der bliklijn, in het algemeen niet vreemd is aan het oog. Ik twijfel, of rolbeweging onder abnormalen drang zou mogelijk geworden zijn, indien haar niet bij 't gewone zien eene zelfstandige beteekenis ware toegekomen. Alvorens deze laatste op te sporen, meen ik de voornaamste resultaten van kunstmatige rolbeweging, als ik ze zoo noemen mag, met het isocoop verkregen, te moeten vermelden 1).

1) Onderz. physiol. labor. Derde reeks. II. 2. bl. 45 en Archiv. ophth. B. XXI. 3. S. 100.

De rolbeweging wordt met het isoscoop gemeten als de verandering van den hoek, die de schijnbaar gelijk gerichte meridianen, bepaaldelijk de schijnbaar verticale en horizontale, met elkander vormen. Vooral aan de schijnbaar verticale heb ik die verandering onderzocht. De hoek, dien ze vormen, is, zooals wij zagen, altijd positief en voor mijne oogen bijzonder groot, bedragende niet minder dan $3^{\circ}.3$. Dit is de hoek V , waaronder ik twee staande draden in het isoscoop stel, om ze evenwijdig te doen schijnen. Zet ik nu deze proeven lang voort, ziende door een wijden cylinder en met een grauw scherm als achtergrond, zoodat zich buiten die draden niets in 't gezichtsveld vertoont, telkens de draden schijnbaar evenwijdig stellende, dan stijgt die hoek allengs tot $4^{\circ}.3$. Een uur later is dat effect nog niet geheel verdwenen. Onafhankelijk van alle proeven, stijgt V een weinig in den loop van den dag.

Stel ik bij de proef de draden onder een grooteren hoek dan $3^{\circ}.3$, dan neemt V spoedig toe, vooral wanneer ik ze bij afwisseling (onder geringe divergentie) laat samenvallen; stel ik ze onder een veel kleineren, dan neemt V spoedig af: ik kreeg zoodoende in een paar minuten eene speling tusschen $2^{\circ}.88$ en $4^{\circ}.85$.

Ik plaatste achter het raam van het isoscoop twee reeksen breede zwarte lijnen, eene reeks voor het rechter, eene voor het linker oog, en in het raam, tot aanwijzing der schijnbaar verticale meridianen, twee roode koorden, als gewoonlijk op een onderlingen afstand van 70 millimeter. De twee reeksen konden evenwijdig gesteld worden, maar, naar verkiezing, ook onder een positieven of negatieven hoek: altijd vertoonde zich de neiging, ze door rolbeweging onder den gewonen hoek te doen samensmelten. Zoo verkreeg ik binnen weinige minuten eene speling van $V = 4^{\circ}.65$

tot $V = -0^{\circ}.11$. Door aftrekking der waarden van V van den hoek, waaronder de twee reeksen stonden, werd de hoek gevonden, waaronder ze samengesmolten waren. Deze hoek is bij stereoscopische combinatie dikwijls te hoog geschat, omdat men de compenseerende rolbeweging niet kende.

Ook wanneer men een staafje, dat zich achter het raam van het isoscoop in het mediaan-vlak bevindt, afwisselend voor en achterover hellend, bij convergentie fixeert, doet de invloed der halfbeelden zich op den stand der verticale meridianen gelden. Ik verkreeg daarmede een speling tusschen $V = 2^{\circ}.6$ en $4^{\circ}.98$.

Is bij al deze proeven ook maar een enkele horizontale draad in het isoscoop gespannen, zoo houdt deze de meridianen in bedwang. Noch het lang voortzetten der proeven, noch de richtingen der halfbeelden van lijnen of staafjes vermogen dan den hoek V belangrijk te wijzigen.

De halfbeelden van horizontale lijnen beheerschen dus zeer kennelijk die van verticale. Hierdoor zijn zij de basis van het stereoscopische zien. Onder haren invloed stellen de oogen zich zoo, dat de gezegde halfbeelden nagenoeg in de schijnbaar horizontale meridianen samenvallen, en bij dien vasten stand krijgt de hoek der schijnbare verticale eerst zijne stereoscopische beteekenis. De aanwijzing is valsch, wanneer men kunstmatig rolbeweging vordert, om de horizontale halfbeelden te doen samenvallen: richt men de bliklijnen, met overkruising, op twee stelsels van lijnen, die in tegengestelden zin een weinig van de horizontale richting afwijken, dan brengt de neiging, om ze te doen samenvallen, die draaiing om de bliklijn voort, en een verticale draad, door het convergentiepunt gaande, schijnt nu in het mediane vlak, naar gelang der draaiingsrichting, voorover of achterover

te hellen. Voor die merkwaardige proef kan men het isoscoop bezigen 1).

Onder verschillende omstandigheden komt nu bij 't gewone zien de symmetrische rolbeweging voor, die wij hier, onder den invloed van kunstmatige halfbeelden, leerden kennen. In de eerste plaats bij het convergeerend fixeeren van horizontale lijnen buiten den primairen stand C. Reeds boven (bl. 42) maakte ik daarvan melding. Ik deed opmerken, dat de hoek der halfbeelden daarbij noopte den gezegden primairen stand op te zoeken. Maar niet altijd kan daaraan gevolg gegeven worden. Het voorwerp is, onder de gegevene omstandigheden, niet wel verplaatsbaar en de bewegingen van het hoofd vinden bezwaar: nu draaien de oogen om de bliklijn en de horizontale halfbeelden naderen tot gelijke richting. Het isoscoop toont dit al weder aan in de verandering van den hoek V. — Ook bij het zien en behandelen van verticale en van meer of minder hellende lijnen in of nabij het mediane vlak kan men eene accommodatieve rolbewegingen constateeren, vooral, wanneer de oogen niet te sterk onder de controle staan van nagenoeg horizontale lijnen. Eenige weinige proeven zijn voorts toe-reikend, om hare accommodeerende werking bij asymmetrische convergentie te leeren kennen. Rust nu de blik een korten tijd op eenig punt, dan doen, behoudens een zekere suprematie der horizontale lijnen, alle in het gezichtsveld aanwezige gemarkeerde punten en lijnen hunnen invloed op den stand der oogen gelden, inzonderheid die, waarop de aandacht zich bijzonder vestigt, in het algemeen dus de nabijheid van het directe zien, maar

1) Op de beteekenis dezer verschijnselen voor het stereoscopische zien kom ik bij een latere gelegenheid terug.

toch ook zelfs, zooals het isocooop mij al weder leerde, lijnen nabij de grenzen van het binoculaire gezichtsveld, waarop men zelfs niet gelet had.

Iedere stand der oogen zoekt dus in kleine schommelingen om de bliklijn zijnen horoptor, in verband met de beelden van het gezichtsveld. Zoo uit zich onbewust het streven, om den stand der oogen naar de eischen van het binoculaire zien te accommodeeren. In zoodanig streven ligt de oorsprong der symmetrische rolbeweging opgesloten.

Bijlage I. In het Archiv f. Ophth Bd. XVIII, 1. S. 53 komt een onderzoek voor van den Heer Dobrowolsky, waarvan het resultaat is, dat op 21 personen, bij convergentie in den primairen stand P, niet minder dan 14 maal *negatieve* rolbeweging zou zijn waargenomen. Dit gaf mij aanleiding, om mijne bepalingen over vele personen uit te strekken; maar het is mij, evenmin als aan andere zelfstandige waarnemers, mogen gelukken, een enkel geval van daarbij voorkomende *negatieve* rolbeweging aan te treffen. Voor een deel werden de proeven genomen na nauwkeurige bepaling van den primairen stand P, onder anderen door Engelmann, Bouvin, Mulder, van Rees, Winkler, Grosmann, van der Ven, Goenee. Bij anderen bepaalde ik mij tot het eenvoudig rechtstandig plaatsen van het hoofd, zeker nagenoeg in den primairen stand P: bij dezen werd de methode gebezigt, die ook Dobrowolsky op aanwijzing van Helmholtz had aangewend, bestaande in het vereenigen van twee stralen der Volkman'sche schijven, in een spiegel-stereoscoop met draaiende spiegels gezien. Men laat eerst de stralen, door stereoscopische combinatie der kleine ringen, die zij dragen, onder het draaien der spiegels volgen, zoo mogelijk totdat de bliklijnen evenwijdig zijn, en terwijl de eene straal horizontaal is gesteld nu aan den anderen met de hand schijnbaar dezelfde richting geven. Is dit geschied, dan draait men de spiegels in tegengestelde richting, zoodat er meer en meer convergentie wordt gevorderd. De waarnemer bemerkt, dat de stralen zich nu niet meer evenwijdig vertoonen, maar een gebroken lijn vormen, en wordt nu verzocht den eenen straal zoo te draaien, dat ze weder evenwijdig worden. Constant nu werd deze draaiing uitgevoerd in zoodanigen zin, als na positieve rolbeweging moest gevorderd worden.

Een overzicht dier proeven geeft de volgende tabel:

Naam.	Onderdom.	Refractie.	Positieve rolbeweging.
Kränchel	29	E	2°.7
Van Moll	25	E	3°.4
Engelmann	29	M $\frac{1}{20}$	3°.3
Küster	28	E	3°.3
Lentink	29	M $\frac{1}{40}$	2°.2
Luchtmans	22	E	1°.2
V. D. Post	21	E	4°.
Mulder		E	4°.05
Frank	32	M $\frac{1}{10}$	4°.
Callan		M	5°.2
Backer	24	E	5°.
Van Lunteren	25	E	4°.25
V. D. Loo	21	E	4°.
V. D. Heuvel	26	Ah	2°.
Paling	19	E	5°.25
V. D. Ven.	22	E	5°.5
V. D. Meulen	25	E	4°.3

Na deze uitkomsten komen die van Dobrowolsky mij problematiek voor. Wellicht is niet voldoende acht gegeven op den primairen stand: bij betrekkelijk kleine afwijkingen daarvan zouden Engelmann, Van Moll, Küster en Grossmann negatieve rolbeweging hebben kunnen vertoonen.

Hetzelfde geldt van Dastich, ik meen ook van Nagel en Claparède.

Bijlage II. a. Reeds in 1873 heb ik eenige onderzoekingen gedaan over den primairen stand C (verg. Onderzoek. Lab. III. p. 380), mij daarbij van het isoscoop bedienende, en toen reeds opgemerkt, dat bij sterke convergenties de hoek s afneemt en nu aanvankelijk voor mindere convergenties kleiner blijft, bij divergentie daarentegen een weinig stijgt. Zoo teekende ik aan:

1.	converg.	op 150 m.m.	na gewoon werk,	$s = 40^{\circ}.1$
2.	"	"	na 2 min. divergentie	44°.5
3.	"	"	onmiddellijk daarna	41°.8
4.	"	100	"	33°.20
5.	"	150	onmiddellijk daarna	36°.55
6.	"	"	onmiddellijk daarna	36°.95
7.	"	"	na 3 min. divergentie	45°.33.
8.	"	"	onmiddellijk daarna	41°.76.

Thans de proeven met het horopteroscoop herhalende, verkrijg ik gelijke resultaten. Een paar reeksen, op verschillende dagen genomen, mogen hier plaats vinden.

mm.	I.	II.
conv. op 977.	42.	45.
648.	42.	44.
234.	40.	41.
212.	40.6.	41.2.
194.	35.7.	37.2.
178.	37.	38.
153.	36.7.	35.2.
134.	34.5.	33.7.
120.	32.7.	35.3.

Bij het maximum van convergentie had ik als minimum $s = 27^{\circ}2$, bij de gewone convergentie een speelruimte tusschen 37° en 40° . — Voor de uiteenloopende waarden van den hoek s , ook bij dezelfde convergentie, vindt men bl. 47 in den tekst eene bevredigende verklaring.

Bij de meeste waarnemers werd voor verschillende graden van convergentie s nagenoeg gelijk gevonden. Zoo bedroeg op vier verschillende dagen bij den Heer Bouvin s gemiddeld $24^{\circ}3$, $24^{\circ}3$, $24^{\circ}1$ en $23^{\circ}2$, met vrij groote afwijking in de afzonderlijke waarnemingen, maar zonder kennelijken invloed van de graden van convergentie. Hetzelfde gold voor Goenee, wiens gemiddelden op 3 verschillende dagen $25^{\circ}7$, $26^{\circ}5$ en $25^{\circ}7$ bedroegen. Mulder vond ongeveer 35° , Winkler 25° , van Rees 27° , van de Ven tusschen 20° en 30° . In zijn Binocularsehen (S. 96) zien wij, dat Hering voor zich zelf ongeveer 20° vond en dat voor Meissner eene vrij groote positieve, voor von Recklinghausen $s = 35^{\circ}$ mag aangenomen worden. Ook Volkmann en Welcker hadden positieve hoeken. Dat ook hetzelfde gold voor de verschillende waarnemers, die in den primairen stand P bij convergentie een positieve rolbeweging waarnamen (zie bijlage I), valt niet te betwijfelen.

Hiertegenover staan nu anderen, minder in getal, bij wie s zeer klein of zelfs $= 0^{\circ}$ wordt, zooals bij Helmholtz, Engelmänn en Grossmann, ook bij Nagel (naar ik meen mij te herinneren); maar van negatieve waarden heb ik, buiten de 14 op 21 van den Heer D., nergens een geval vermeld gevonden.

b. Met het horopteroscoop werd nu tevens de kanteling van het vlak bepaald, waarin de schijnbaar verticale meridianen zich sneden. Die bepalingen lieten in nauwkeurigheid wel te wenschen over; maar bij allen was toch het verband met den hoek V—H en

het afnemen van α met toenemende convergentie gemakkelijk te constateeren.

Een paar reeksen mogen hier plaats vinden:

		I.	s	α
Converg.	op 1000 m.m.		45°9	37°
"	" 750 "		44.8	29.3
"	" 500 "		43.3	25.5
"	" 234 "		37.6	7.4
"	" 150 "		33.9	4.7
"	" 126 "		34.	4.
"	" 108 "		33.5	3.3
"	" 95 "		33.5	2.75
"	" 84 "		32.3	2.6

		II.	$m = 1^\circ 25'$
Converg.	α , gevonden	Converg.	α , berekend
976	35°2	999.4	34°17'
733	27°7		
488	20°, 22°	498.9	18°50'
231	11°3, 9°7	197.3	11°34'
		146.4	7°46'
142	6°3, 6°55	94.5	
122	5°15		
100	3°2		3°54'

Er zijn verschillende redenen, waarom een groote nauwkeurigheid voor de waarden van α niet te bereiken is. Het werktuig laat geen scherpe bepaling toe maar ik ben ook overtuigd, dat de scherpste bepalingen groote afwijkingen zouden vertoonen, dewijl de gezichtsfunctie zelve een vrij groote speling toelaat. — De berekening stuit op het bezwaar, om voor $V-H$, en daarmee voor $m = \frac{1}{2}(V-H)$ juiste cijfers te vinden. Het wankelbare van V en H maakt gelijktijdige bepaling van beide noodzakelijk, en hierbij leverden verschillende methoden weder onderling afwijkende resultaten op. Ook met de absolute waarden van V en H (door rolbeweging) verandert de waarde van $V-H$, een uitkomst, waarvan ik niet in staat ben rekenschap te geven.

In het vervolg van mijn onderzoek, in de onderzoekingen. D-III. 2. bl. 45 en in het Archiv f. Ophth. B. XXI. 3 voorkomende, zal de bepaling van H en van $V-H$ nader ter sprake komen.

